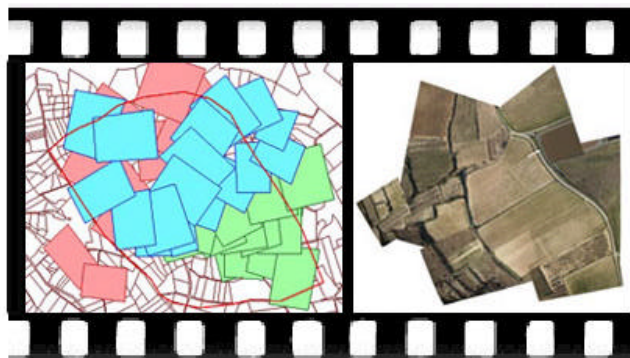


Mémoire présenté en vue de l'obtention
du diplôme d'**ingénieur E.S.G.T.**



OBTENTION ET TRAITEMENTS GEOMETRIQUES D'IMAGES NUMERIQUES A TRES HAUTE RESOLUTION



par **Annabelle PRIEUR**
soutenu le 08 juillet 2003

JURY

Président : M. ROUSSELOT Claude
Membres : M. PAPARODITIS Nicolas

Directeur de l'ESGT
Enseignant Chercheur MATIS IGN
Enseignant Chercheur ENSA.M

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ici mes plus sincères remerciements aux personnes qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire.

A Nicolas PAPARODITIS pour ses conseils avisés de professionnel de la photogrammétrie et pour le développement du logiciel de correction de distorsion

à mon maître de stage Jean-Marc ROBBEZ MASSON pour ses questions pertinentes qui m'ont permis de progresser,

à Jean ASSELINE pour tout son apprentissage sur le paramoteur Pixy©,

à l'ESGT pour la mise à disponibilité du polygone d'étalonnage et pour son enseignement pendant ces trois années,

Je tiens à remercier également Catherine MAZZONI, Christian SIMON, Bruno ROUX, Olivier HUTTEL et José MADEIRA,

ainsi que tous les stagiaires et thésards du laboratoire pour leur bonne humeur et leur accueil dans cette ville de Montpellier.

SOMMAIRE

Remerciements	3
Sommaire	4
Glossaire	6
Lexique photographique	6
Lexique photogrammétrique et de télédétection.....	6
Introduction.....	9
Enjeux et objectifs	10
L'environnement du stage	10
Les besoins recueillis.....	11
Analyse bibliographique.....	12
Définition des objectifs	16
Préparation du Chantier.....	17
Le terrain.....	17
Les supports cartographiques	17
Le Pixy©	18
Le GPS	19
Le capteur photographique.....	20
Acquisition des Images.....	24
Les conditions de vol.....	24
Le pilotage.....	26
Le système de suivi de pilotage et de prises de vue	26
La correction de la distorsion due à l'appareil numérique.....	28
Problèmes rencontrés, améliorations	29
Orientation et mosaïquage des images	31
Orientation des images.....	31
Mosaïquage	35
Evaluation des décalages.....	37
Autres solutions de logiciels	41
Conclusions, Perspectives.....	43
Résumé	44
Bibliographie	47
Sites internet.....	47
Rapports et thèses	47
Ouvrages.....	47
Annexes.....	48

GLOSSAIRE

Lexique photographique

Bit : Abréviation de Binary digiT, unité élémentaire d'information, un bit est l'information de base d'un ordinateur basé sur le binaire, en effet un bit correspond à 0 ou 1 soit un circuit fermé ou un circuit ouvert, un ordinateur traite les informations au niveau du bit qui sert ainsi d'unité

Reflex : Terme utilisé lorsque le viseur optique reflète l'image de l'objectif (via un mécanisme de miroirs). Le photographe voit alors exactement l'image telle qu'elle sera photographiée et évite ainsi la parallaxe.

Parallaxe : Différence entre l'image vue dans le viseur de l'appareil (s'il n'est pas Reflex) et celle prise par l'objectif. Plus ce que l'on photographie est proche - par exemple en macro - plus cette différence s'accroît.

Vitesse d'obturation : Temps pendant lequel l'obturateur s'ouvre pour laisser passer la lumière. La vitesse d'obturation est variable suivant les paramètres de prise de vue. En fonction des appareils, cette vitesse est déterminée automatiquement ou par un réglage manuel.

Obturateur : Cache mobile qui permet en s'ouvrant d'exposer le film ou le capteur à la lumière

Autofocus = mise au point automatique : Réglage de l'objectif pour obtenir l'image nette d'un sujet voulu. D'un point de vue technique c'est la modification de la distance entre l'optique de l'appareil et la partie sensible de l'appareil (film ou capteur pour les appareils numériques).

Balance des blancs : Les lumières artificielles (néon, halogènes...) ont tendance à accentuer certaines teintes. On utilise alors un système de correction des couleurs appelé "balance des blancs" qui peut être automatique, pré-réglé ou manuel.

Exposition : C'est la combinaison de la sensibilité du film ou du capteur (en ISO), de l'ouverture et de la vitesse d'obturation. Certains appareils numériques proposent de régler ces différents paramètres, sur les autres l'exposition est automatique.

Lexique photogrammétrique et de télédétection

Capteur : Tout dispositif de détection pouvant produire des images.

Porteur = Plate-Forme : Véhicule portant un capteur, par exemple: satellite, aéronef, ballon, etc.

Résolution spatiale : Mesure de la plus petite séparation angulaire ou linéaire entre deux objets, habituellement exprimée en radians ou en mètres.

Résolution spectrale : Aptitude d'un système de détection à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes.

Pixel (*picture element* = élément d'image) : Point élémentaire de la matrice d'une image numérisée, d'un écran, d'un capteur...

Taille du pixel : Cadence à laquelle on découpe l'image.

Résolution d'une image : Pouvoir de séparation des objets.

Précision de localisation : Capacité à localiser un objet.

Taille du plus petit objet détectable : elle dépend de son pouvoir réfléchissant.

Qualité géométrique des images : l'image se rapproche de la géométrie du terrain (précision de localisation, déformations minimales, recouvrement, parallaxe)

Qualité radiométrique : on prend en compte la FTM maximale (Fonction de Transfert de Modulation), le niveau de flou dans les images (atmosphère, instabilité du porteur, etc), le rapport signal sur bruit SNR.

Bruit : Interférences aléatoires ou régulières dans les données, qui en dégradent le contenu en information. Explication : Brouillage total présent sur une image, causé par le bruit sur le trajet de télédétection ou par les composants électroniques et optiques du système de télédétection.

Géoréférencement : Localisation dans l'espace terrestre à l'aide de coordonnées, qui permet une superposition à une carte

Aérotiangulation : [2] méthode de constitution d'un canevas d'appui, en utilisant les relations géométriques qui lient les photographies adjacentes d'une prise de vues stéréoscopiques, et un nombre restreint de points d'appui. On peut également prendre en compte des mesures complémentaires, telles que la trajectographie GPS ou la mesure inertielle d'attitude.

Mosaïque d'images : document résultant d'un montage d'images de scènes, ou de parties de scènes, prétraitées pour être raccordables géométriquement et radiométriquement.

Orthophotographie : image photographique sur laquelle ont été corrigées les déformations géométriques dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vue et à la distorsion de l'objectif.

Une orthophotographie est pratiquement toujours obtenue à partir d'un cliché métrique.

Elle peut présenter des déformations résiduelles et des manques de couverture d'autant moins négligeables que les pentes de terrain sont fortes et les superstructures plus nombreuses et plus élevées. Les déformations dues aux superstructures anthropiques peuvent être corrigées, notamment à partir d'un modèle numérique altimétrique des surfaces urbanisées.

Une orthophotographie possède la précision d'une carte et recèle une information plus riche, mais non interprétée.

Elle permet de mesurer la longueur, la surface de tout objet du sol

Orthophotographie numérique : Orthophotographie obtenue par ré-échantillonnage géométrique d'une image numérisée, qu'elle soit produite par numérisation d'une image argentique, ou par un capteur numérique.

Ortho-image : synonyme d'orthophotographie.

Orthophotoplan : assemblage ou mosaïque d'orthophotographies par opposition au photoplan (assemblage de photographies aériennes redressées à une échelle moyenne commune sur canevas de points connus par leurs positions planimétriques et leurs dénivelés).

Orthophotocarte ou carte orthophotographique : [1] carte sur fond d'image orthophotographique comportant en surcharge un certain nombre de renseignements (carroyage, toponymie, courbes de niveaux, signes conventionnels, etc.) destinés à en faciliter l'interprétation et l'emploi.

Orthorectification : application à une image de traitements destinés à corriger les déformations dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vues et à la distorsion de l'objectif.

MNT = Modèle Numérique de Terrain : (*Digital Elevation Model* ou *DEM* en anglais)
Représentation de la topographie de la Terre dans un format numérique, c'est-à-dire au moyen de coordonnées et de descriptions numériques de l'altitude. Il représente le sol et le sursol.

MNE = Modèle Numérique d'Élévation : Il représente le sursol (bâtiments, etc).

MNS = Modèle Numérique de Surface : Il représente le sol.

INTRODUCTION

De nos jours, le secteur de la géomatique grâce aux développements des SIG (Systèmes d'Informations Géographiques), a vu ses clients se diversifier. Aujourd'hui de nombreuses personnes font appel aux services des géomètres, ainsi ce nouveau marché permet de faire connaître à ces personnes d'autres domaines tels que celui de la photogrammétrie et de l'imagerie. C'est pourquoi on observe une diversification des produits de l'imagerie afin de satisfaire leurs besoins.

C'est dans cet essor que mon stage s'est déroulé au sein de l'UMR LISAH (Unité Mixte de Recherche : Laboratoire d'étude des Interactions entre Sols, Agrosystèmes et Hydrosystèmes) composée de l'INRA, l'IRD et l'ENSA de Montpellier. Dans ce laboratoire de nombreuses études ont été effectuées sur les relations entre la vigne, le sol et l'eau environnant cette culture : taux de pollution, ruissellement, *etc.* L'acquisition d'images numériques de très haute résolution spatiale avec un paramoteur Pixy©, permettrait d'amener un nouveau moyen d'analyse.

Le présent travail de fin d'étude consiste à analyser les travaux existants sur le sujet, de mettre en place une chaîne d'acquisition des données pour le porteur Pixy© et de traiter les images obtenues en leur appliquant des corrections géométriques. L'objectif est d'obtenir une mosaïque d'images la plus fidèle possible à la réalité terrain.

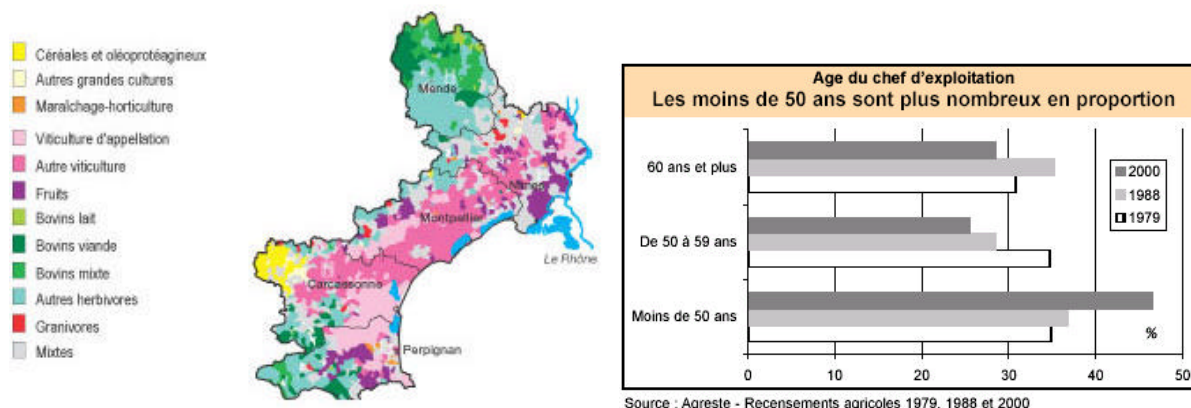
Le laboratoire n'a pas exclusivement de spécialistes de la topographie ou de l'imagerie, mon apport doit donc rester abordable et facilement utilisable par les chercheurs.

ENJEUX ET OBJECTIFS

L'environnement du stage

Le stage que je réalise, s'effectue dans la région du Languedoc Roussillon. Cette région recouvre 2 776 000 hectares du territoire de la France, dont 1 065 000 hectares de superficie de terres agricoles utilisées, parmi lesquelles 29.5% sont cultivées en vigne. Cette culture domine largement l'agriculture.

Orientation technico-économique des communes en 2000



Dans cette région, une révolution viticole a lieu, près de 50 000 hectares de vignes ont disparu entre 1979 et 1988 et environ 54 000 hectares depuis cette date. Des primes d'arrachage ont été versées et s'en suivent de nombreux départs d'exploitants. Le nombre d'exploitations a diminué de 41% depuis le dernier recensement de 1988, mais les exploitants de moins de 50 ans sont à nouveau plus nombreux que les 50 et plus, ou que les 50, 60 ans. Le vignoble à vocation d'appellation est en hausse dans l'Hérault, où une politique incitative de qualité a été menée. Les exploitations occupent l'équivalent de 60% de l'emploi régional, le taux est de 71% pour le département de l'Hérault. La viticulture occupe donc une place importante dans cette région et plus particulièrement dans le département de l'Hérault.

Certaines maladies provoquant le dépérissement de la vigne sont apparues dans les vignes à partir de 1993. En 1995, le dépérissement apparaît sérieusement dans l'Hérault et le Gard puis en 1997 dans l'Aude, les Pyrénées-Orientales, le Vaucluse ainsi que dans les régions de Fronton et Gaillac mais avec des dégâts moins importants. Dans certaines zones comme le Gard, le dépérissement dont les causes sont mal connues a une véritable incidence économique.

C'est dans ce contexte que le programme GESSOL a été initié par l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) de Montpellier. Agronomie, milieu et environnement, industries agroalimentaires sont les principaux domaines traités par cet organisme de recherche comprenant plus de 9000 chercheurs. Le programme GESSOL planifié depuis l'année 2001 jusqu'en 2004, traite des dégradations physiques des sols sous culture de vigne et de ses impacts sur la ressource en eau en milieu méditerranéen viticole. Un des thèmes défini par ce programme et dans lequel s'inscrit mon travail de fin d'études est le suivant : "appréhender l'organisation spatiale et les changements d'états des sols et des paysages cultivés en vue de l'étude de leur fonctionnement hydrologique".

L'UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions entre Sols, Agrosystèmes et Hydrosystèmes, est l'entité dans laquelle s'est déroulé mon travail. Elle réunit à Montpellier des chercheurs et enseignants-chercheurs de l'INRA, de l'ENSA.M et de l'IRD. L'UMR LISAH est l'un des principaux laboratoires participant au programme GESSOL.

Mon maître de stage Jean-Marc ROBBEZ MASSON, maître de conférence ENSA.M, est spécialisé sur la reconnaissance d'objets texturés sur images pour une vision paysagère de l'espace. Les applications SIG, la cartographie des sols et du milieu, avec une prédilection pour les méthodes numériques issues du traitement d'images et de la géomatique constituent ses spécialisations. C'est dans le cadre de ses recherches et plus particulièrement pour évaluer le dépérissement de la vigne que j'interviendrai.

L'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) qui a pour mission de développer des projets scientifiques centrés sur les relations entre l'homme et son environnement dans la zone intertropicale, est en collaboration avec l'INRA sur ce thème. Cet organisme intervient dans mon projet par l'intermédiaire de l'ingénieur Jean ASSELINE créateur d'un paramoteur nommé Pixy©, qui fournit des images spatiales de très haute résolution. L'obtention de ces images permettra à l'UMR LISAH d'effectuer des traitements sur les états de surface des sols de la vigne, sur l'évolution et le dépérissement de cette plante et sur la modélisation hydrologique (ruissellement, infiltration, transports de matières, etc.).

Les besoins recueillis

Les besoins outre ceux du contexte précisés au-dessus, sont d'acquérir des images de très haute résolution.

Par exemple, José DA SILVA MADEIRA NETO scientifique brésilien de l'EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) missionné dans l'UMR pour établir des conventions de projets de collaboration entre l'INRA et l'EMBRAPA, travaille sur les images de Spot5 en panchromatique (résolution 5 m) et en multi-spectral (10 m). L'acquisition d'images numériques de très haute résolution, lui permettrait d'élargir son champ de travail et d'expérimentation.

Il souhaite :

- ✓ distinguer les rangs des inter-rangs ;
- ✓ les zones d'ombre de la vigne ;
- ✓ les modes de conduite de la vigne (gobelet, palissé) ;
- ✓ l'état de surface du sol : composition (calcaire, gravillons) et état du sol (enherbement, couverture de feuilles sur le sol).

Ceci afin de

- ✓ définir un état des lieux des parcelles en vigne,
- ✓ voir la croissance de la vigne et la couverture végétale du terrain,
- ✓ définir la composition minérale des sols.

Une résolution de 0.25 m lui paraît suffisante pour répondre à ces besoins.

Il voudrait par la suite, pouvoir déterminer la quantité en pourcentage de différents composants de la parcelle afin de comparer la composition d'une image de haute résolution du Pixy© ou d'hélicoptère à une image satellitale Spot au niveau du pixel. C'est à dire comparer la radiométrie d'un pixel moyenné de Spot à son équivalent dans une image de très haute résolution type Pixy©. Pour la comparaison de ces images, il serait nécessaire de prévoir l'acquisition d'images dans les mêmes conditions que celle de Spot pour avoir la même quantité d'ombre sur les images, c'est ce qui est le plus important.

De plus, des acquisitions d'images à différents moments (début du développement de la végétation et maximum de sa croissance) lui permettraient de quantifier l'évolution de la vigne.

Jean-Marc ROBBEZ MASSON utiliserait plutôt les images afin de préciser les effets du dépérissement de la vigne. Elles lui permettraient de quantifier les pieds dits manquants, morts par dépérissement – et d'orienter les échantillonnages de terrain en fonction de ces inventaires. De plus les images peuvent peut-être révéler les conditions environnantes de ces pieds et permettre d'en tirer des conclusions sur les causes possibles de mortalité.

Patrick ANDRIEUX s'intéresserait, quant à lui, davantage à l'état de surface du sol de la vigne qui varie suivant les précipitations et leur intensité, la composition du sol, la topographie du lieu et le mode de culture de la terre : labourée, enherbée ou non à différents taux de désherbage.

Dans l'UMR, les images apporteraient un développement supplémentaire très enrichissant à ces trois personnes. Mais d'autres seraient également intéressées par ces images et développeraient des procédures pour leur propre usage.

Analyse bibliographique

Le sujet s'intégrant dans un programme de recherche en cours, certains travaux ont déjà été réalisés, je vais en résumer les principaux.

Les travaux

Thèse de Tom Wassenaar 2001

Son objectif consistait à étudier si en milieu viticole méditerranéen, la télédétection répond aux besoins des hydrologues modélisateurs concernant la reconnaissance des états de surface.

Le vecteur choisi pour répondre à ses besoins a été l'hélicoptère, il est plus facilement disponible que des porteurs tels que l'avion ou les satellites et son utilisation reste plus flexible. Son coût est également plus intéressant, les images sont d'une résolution spatiale plus fine, par contre le temps de prétraitement des images est plus long.

Il recherche une télédétection « adaptée », la résolution spatiale de 0.25 m semble convenir à l'analyse voulue de l'image. Différentes compositions doivent être mises en valeur :

- ✓ sur le plan spatial et directionnel, la définition de la structure d'une vigne par un modèle textural,
- ✓ sur le plan spectral : la surface éclairée du sol entre les ceps est constituée d'un ou plusieurs objets parmi un nombre limité d'objets connus,
- ✓ sur le plan temporel : connaissance sur l'évolution de l'état de surface.

Des informations d'ordre météorologique, pédologique, hydrologique et agronomique, permettent de compléter l'analyse issue de la télédétection.

Certaines de ces analyses ont été automatisées sous IDL ENVI, elles permettent d'obtenir :

- ✓ la surface cultivée, les modes de conduite de la parcelle (palissé, en gobelet, plante)
- ✓ l'orientation des rangs et leur écartement,
- ✓ l'estimation du couvert végétal, la présence d'un labour,
- ✓ la détermination du faciès du sol minéral,
- ✓ les classes hydro-spectrales,
- ✓ l'estimation de l'enherbement (non validée).

Un certain niveau d'erreurs a été quantifié, lié aux faiblesses techniques telles que la mise au point du scannage, la non correction de la géométrie en fonction de la vue et de l'éclairement. Il faut aussi tenir compte des erreurs de classification spectrale liées au milieu physique.

Mosaïque du bassin de Roujan



Le travail issu du traitement des images de cette thèse convient aux hydrologues modélisateurs. L'apport de mon stage se situerait en amont lors de l'acquisition des images. Le paramoteur Pixy© remplacerait l'hélicoptère afin d'avoir une plus grande disponibilité et flexibilité et permettrait l'acquisition des photos à un moindre coût. Il faut pour cela définir la procédure d'acquisition des images du paramoteur, le redressement géométrique des images et leur mosaïquage.

On s'aperçoit que le travail de Tom a été très enrichissant, mais une telle opération n'est pas réalisable régulièrement. Elle demande un investissement de travail important. On espère donc qu'avec le Pixy© cette opération pourra être mise plus facilement en œuvre.

TFE d'Anne Line Padovan 2000

L'objectif de son projet de fin d'étude était d'automatiser au mieux la procédure de géoréférencement et de mosaïquage des prises de vue obtenues par hélicoptère grâce aux logiciels ArcView™ et Envi®. Ce sujet était bien sûr en relation direct avec la thèse de Tom Wassenaar.

Elle a procédé à la numérisation des clichés, puis au positionnement visuel des photos (centres et contours) sur la BD Topo™. La phase d'automatisation a été effectuée :

- sous ArcView™ pour la création des points d'amer,
- sous IDL ENVI®
 - ✓ pour le géoréférencement par la triangulation de Delaunay,
 - ✓ et pour le mosaïquage des images.

Les points d'amer ont été choisis grâce à la BD Topo de l'IGN. Leur précision qui dépend des types d'objets choisis, est variable et vaut en moyenne en planimétrie en restitution 1.5m et en complètement 5m. Quant à l'altimétrie, les points cotés sont au nombre d'environ 10 par km²,

les altitudes sont données au décimètre près, l'équidistance des courbes de niveau est de 5 ou 10m. Nous n'utiliserons pas ce même support la densité des points n'étant pas suffisante.

La fonction de mosaïquage sera vraisemblablement réutilisée. Par contre pour le géoréférencement, on se pose la question de la précision, ne pourrait-on pas avoir une meilleure précision avec une autre méthode que celle de la triangulation de Delaunay.

TFE Sylvain Glandier 2001

Son TFE consistait à automatiser le processus de production de prises de vue (planification et acquisition) jusqu'à l'obtention du tableau d'assemblage des photographies prises avec un aéronef construit à l'ESGT par M. DOL.

La planification s'opère en scannant un fond de plan, puis en lui appliquant la transformation d'Helmert pour conserver une bonne précision. Un fichier itinéraire est créé qui servira à guider le pilote. Ensuite lors de l'acquisition, un GPS en mesure temps réel est embarqué, le fichier itinéraire et l'initialisation d'un logiciel de navigation permettent un contrôle lors de l'acquisition. Un fichier de retour des informations est créé qui permettra de construire le tableau d'assemblage à l'aide du logiciel TA développé par le laboratoire MATIS.

Ces étapes semblent très intéressantes dès lors que le nombre de clichés pris augmente. Ce TFE peut nous servir d'exemple pour notre utilisation avec le Pixy©.

TFE de Jérôme HAXAIRE

Cet autre TFE traite du processus de production de prises de vue à l'obtention de l'orthophoto par ballon dirigeable.

Ces travaux nous aident donc à déterminer nos objectifs et à préciser les étapes nécessaires à l'obtention des images.

Les porteurs et leurs images

Plusieurs moyens permettent d'effectuer des prises de vue à basse altitude. Nous allons en citer quelques-uns en présentant leurs défauts et leurs qualités.

Tableau comparatif

	IRS	SPOT5	IKONOS	QUICKBIRD
Disponibilité/Flexibilité	aucune	aucune	aucune	aucune
Temps de prétraitement	nul	nul	nul	nul
Echelle	1/25000 à 1/12500		1/5 000	
Résolution	5m	2,5m	1 m en N&B, 4m en MP	0.6m en N&B, 2.6m en MS
Coûts	3890E/scène en N&B soit 0.8E/km ²	6120E/scène en N&B soit 1.7E/km ²	25,6 ^E / km ² en N&B soit 3098E/scène	6120\$/scène en N&B soit 22.5E/km ²
	5050E/scène en MS soit 1E/km ²	9400E /scène en MS soit 2.06E/km ²	18,6 ^E /km ² en MS soit 2250E/scène	6800\$/scène en MS soit 25E/km ²
Surface scène	70x70km	60x60km	11x11km	16.5x16.5km

N&B panchromatique, MS multi-spectral

	Avion IGN BD Ortho	Hélicoptère	ULM (Couet)	Paramoteur Pixy©
Disponibilité/Flexibilité	aucune	moyenne	bonne	très bonne
Temps de prétraitement	nul	important	?	important
Echelle	1/25 000 à 1/5000	1/5 000 à 1/1000	1/200 au 1/1 000	jusqu'au 1/50
Altitude de vol	10 km à 5 km	1100m	500,2000m?	150, 300 m
Vitesse	850km/h	200km/h	170 à 55km/h	15 à 35 km/h
Résolution	50cm	haute 25cm	haute ?	haute 5cm
Coûts	27 E /km ²	380E/h	?	
		760E/PVA		
Vent max			40km/h	20km/h
Surface scène	1x1km	600x600m		200x200m

Les tableaux précédents mettent en évidence des problèmes tels que la non disponibilité et la non flexibilité des données issues des satellites ou des avions de l'IGN, de surcroît leurs coûts restent élevés pour de petites structures. Par contre la résolution de 0.6 m de Quickbird ou de 0.5 m pour la BD Ortho™, peuvent satisfaire des besoins de haute résolution.

Pour ceux qui désirent davantage de détails, d'autres moyens se développent petit à petit pour répondre à leurs besoins. Les autres moyens cités sont utilisés à plus petites échelles et pour certains la chaîne de production reste à définir ou à améliorer.

L'hélicoptère présente certains avantages tels que la stabilité et le contrôle du plan de vol, mais son coût et sa disponibilité constituent des inconvénients importants.

L'ULM semble être un bon moyen, mais par rapport au Pixy©, il nécessite une piste de décollage, un brevet de pilote et est soumis à des réglementations.

Le ballon dirigeable a une mauvaise maniabilité et est sensible au vent. L'approvisionnement en hélium n'est pas très pratique, mais peut également convenir pour certaines utilisations.

Au cours de ces expérimentations, Jean ASSELINE a essayé divers moyens. En 1983 et 84 en Tunisie, le cerf volant a connu des problèmes à cause du manque de vent et du poids du matériel à charger. Le décollage et le pilotage de l'appareil n'étaient pas faciles à mettre en œuvre.

Au Mexique quelques années plus tard, pédologues et géographes ont essayé de prendre des images à l'aide d'une grappe de ballons en latex type météorologique gonflés à l'hélium, chacun ayant un diamètre d'un mètre. Sept à huit ballons étaient nécessaires pour augmenter la portance de l'ensemble, les ballons étaient dirigés à l'aide de fils de nylon. Cette technique n'était pas convaincante, du fait de problèmes de verticalité de la prise de vue, de positionnement, de l'approvisionnement en hélium et du vent bien qu'il soit souvent faible dans cette région.

Ensuite, ils ont testé l'utilisation d'un avion très léger avec un pilote chevronné acceptant de voler à basse altitude. Mais les photos réalisées n'étaient pas concluantes et les contraintes liées au pilote subsistent.

L'aéromodélisme classique a pour avantage les faibles contraintes réglementaires mais nécessite un pilote bien initié au pilotage. Les problèmes résident dans le fait que l'avion est fragile, le moteur assez capricieux, la charge embarquée très faible, l'atterrissage souvent périlleux. N'oublions pas que l'on embarque du matériel représentant une somme d'argent conséquente.

Suite à ces expériences, Jean a mis au point et réalisé un premier paramoteur Pixy©, qui s'est avéré fiable et est maintenant commercialisé. Je détaillerai dans le chapitre suivant ces caractéristiques. Le plus grand avantage par rapport aux autres produits cités, c'est que cet appareil peut être facilement piloté par un novice.

Différents produits sont donc présents sur le marché, il est important d'en étudier les propositions et de choisir un produit en fonction de son budget et de ses besoins.

Définition des objectifs

Sur une image représentant une surface d'environ 1 km², nous nous fixons de distinguer l'unité de la parcelle, les rangs et inter-rangs, les modes de conduite de la vigne, les ceps, les éléments qui constituent la couverture du sol (enherbement, *etc.*).

Ces distinctions permettront par la suite grâce à une analyse géométrique et radiométrique d'établir l'état de la transpiration et donc de la croissance de la vigne, l'état de surface du sol pour évaluer la capacité de ruissellement et d'infiltration de l'eau lors de pluies ainsi que le dépérissement.

Je dois choisir des paramètres de prises de vue obligatoires (hauteur de vol, résolution, apport GPS) et adapter les chantiers à différentes conditions (coût, nombre de personnes nécessaires formées ou non), pour déterminer les objets exploitables ou non des images. Un compromis doit être arrêté en fonction des besoins de chacun.

Les différentes étapes qui composent mon stage sont les suivantes :

- ✓ analyse de l'existant et des besoins ;
- ✓ choix du matériel (capteur, porteur) ;
- ✓ planification du chantier, du plan de vol ;
- ✓ acquisition de photos à partir du paramoteur Pixy®, apport du GPS pour la trajectographie ;
- ✓ prétraitements des images (redressement géométrique, mosaïquage, orthophoto, apport GPS pour concordance temporelle de plusieurs images) ;
- ✓ conception de fiches de suivi et formation d'au moins une personne en plus de mon maître de stage sur mon travail.

Il faut garder à l'esprit que cette solution doit pouvoir être adaptée dans d'autres conditions, notamment dans des pays qui ne disposent pas forcément à leur disposition les produits que nous avons en France (MNT précis par exemple).

Après avoir présenté le contexte du stage, les travaux et le marché existants ainsi que les objectifs fixés, je vais vous préciser les caractéristiques du chantier.

PREPARATION DU CHANTIER

Le terrain

Nos travaux s'effectuent sur les sites expérimentaux du bassin versant de la PEYNE (110 km²) affluent de l'Hérault et sur une parcelle de vigne à Puisserguier au nord de Béziers (cf. annexe 7). Ces différents sites sont situés sous climat méditerranéen sub-humide à saison sèche prolongée et sont fortement anthropisés (réseau de fossés, versants aménagés en terrassettes...) du fait d'une activité agricole très ancienne. Ils sont présumés représentatifs de la zone viticole de l'Hérault et sont à ce titre suivis en détail depuis une quinzaine d'années. Leur labellisation récente sous forme d'un Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) leur assurera davantage encore de pérennité. Le bassin de la Peyne est lui-même échantillonné plus en détail dans quatre zones : le bassin de Roujan, ainsi que les zones de Neffiès, de Caux et de Pézenas elles-mêmes représentatives du bassin de la Peyne.

Le bassin-versant de la Peyne comprend deux parties : en effet la Peyne prend sa source dans la Montagne Noire, puis traverse la plaine viticole du Biterrois - Moyenne Vallée de l'Hérault avant de se jeter dans l'Hérault à Pézenas au terme d'un parcours de 30 km. Son cours est sinueux jusqu'en amont de Pézenas ; ensuite, le ruisseau est canalisé jusqu'à la confluence avec l'Hérault. On remarquera sur la carte des pollutions (annexe 7) que la Peyne ne reçoit pas de pollutions industrielles d'où la possibilité d'étudier l'importance et l'influence de la pollution d'origine agricole sur la qualité des eaux.

Le bassin de Roujan (0,91 km²) se compose principalement de vignes. C'est un sous-bassin versant du bassin de la Peyne où l'intensification des systèmes de culture date de plusieurs décennies et s'accompagne à présent de forts processus de pollution des eaux par les produits de traitement agricole et d'une déprise de certains terroirs à valeur agricole réduite. Une station hydrométrique, située en l'amont de la ville de Pézenas permet de mesurer les débits et d'effectuer des prélèvements d'échantillons pour suivre la qualité de l'eau. Ces processus pourraient faire l'objectif futur d'un suivi ou tout au moins d'une caractérisation par imagerie.

La parcelle de Puisserguier au nord ouest de Béziers se situe près de l'affluent de l'Orb, le Lirou. Cette parcelle fait l'objet d'études sur la conduite de quatre différents modes de culture : vigne faiblement et fortement désherbée, vigne non désherbée, vigne labourée.

Ce sont ces principaux sites étudiés par l'UMR, qui feront l'objet de prises de vue.

Les supports cartographiques

Notre objectif consiste à orienter et à assembler les images issues du Pixy©, il faut donc se demander quels seront les supports nécessaires pour effectuer cette opération. Et pour cela, nous déterminons la précision que nous souhaitons atteindre avec les images du Pixy©.

Les chercheurs veulent améliorer le résultat obtenu avec les images issues de la thèse de Tom dont la résolution était de 0.25m. On se fixe donc une résolution image de 0.10m et une précision de localisation de 0.30m afin de distinguer des objets dont la taille est de cet ordre de grandeur : pieds de vigne, taches d'herbe ou d'humidité, zones caillouteuses ...

Pour le repérage des lieux et comme fond de plan, on utilisera le Scan 25®.

La BD Topo™ ayant une précision planimétrique de 0.50m, utilisée lors des prises de vue d'hélicoptère pour le géoréférencement, peut également nous servir pour cette même utilisation. Encore faut-il que le nombre de points d'amer sur une image soit significatif. Par expérience, on le fixe à 3 points minima, 6 sont conseillés pour que la photographie soit correctement orientée.

Si ces points ne suffisent pas, on utilisera des points topographiques remarquables ou des cibles préalablement installées, que l'on relèvera au GPS de précision submétrique.

Il faut veiller à ce que les points ou repères soient uniformément disposés pour que l'image soit orientée de façon cohérente.

Le cadastre semble également être un bon support pour produire de nombreux points de repères, par contre sa précision n'est pas uniforme et reste mal connue, on peut l'apprécier en moyenne inférieure au mètre.

Deux MNT sont à notre disposition, ils nous serviront pour l'orthorectification des images faisant intervenir le relief du terrain.

Un MNT effectué par photogrammétrie concerne la zone du bassin de Roujan dont la précision altimétrique est évaluée à 0.2cm. Et un autre MNT recouvre le bassin de la Payne issu de la BD Topo™ c'est à dire élaboré à partir des courbes de niveau équidistantes de 5 mètres et des points cotés, sa précision altimétrique est estimée, en moyenne à plus ou moins 2 mètres.

Après avoir décrit le terrain puis les supports cartographiques essentiels à la préparation d'un chantier, nous allons présenter le matériel utilisé pour acquérir les images en commençant par le porteur, puis le matériel GPS et le capteur.

Le Pixy©

Généralités

Le Pixy© est un drone construit sur le modèle du parapente à moteur auquel on a ajouté une structure qui lui permet d'être indépendant de l'homme, il est radiocommandé. Sa voile a été étudiée et modifiée pour son utilisation spécifique. Des solides armatures protègent les équipements embarqués bien que l'atterrissage se fasse en souplesse grâce à la voile.

Il n'est pas assujéti à des réglementations de vol comme celles de l'ULM ou de l'avion puisqu'il pèse moins de 12 kg, la cylindrée de son moteur ne dépasse pas 50 cm³ et il est piloté à vue. Il a le droit de voler jusqu'à 150 mètres avec la seule autorisation du propriétaire du terrain de décollage et d'atterrissage. Il faut demander l'autorisation de vol au préfet pour les zones urbaines. Les avions sont limités à 300 mètres d'altitude minimum, une zone franche entre 150 et 300 mètres subsiste où chacun peut voler en étant vigilant par rapport à l'autre.

La flexibilité de sa mise en place est très appréciable, une route ou un chemin un peu large, un carrefour dégagé d'arbres ou de lignes électriques suffisent pour faire décoller le paramoteur. La sécurité du matériel lors de l'atterrissage est garantie, en effet la voile amortit les chocs. La vitesse de vol relativement lente permet de corriger les erreurs éventuelles de pilotage et le maniement reste accessible à un large public. Son coût est abordable et sa commercialisation par ABS Aérolight permet à chacun d'exploiter cette ressource.

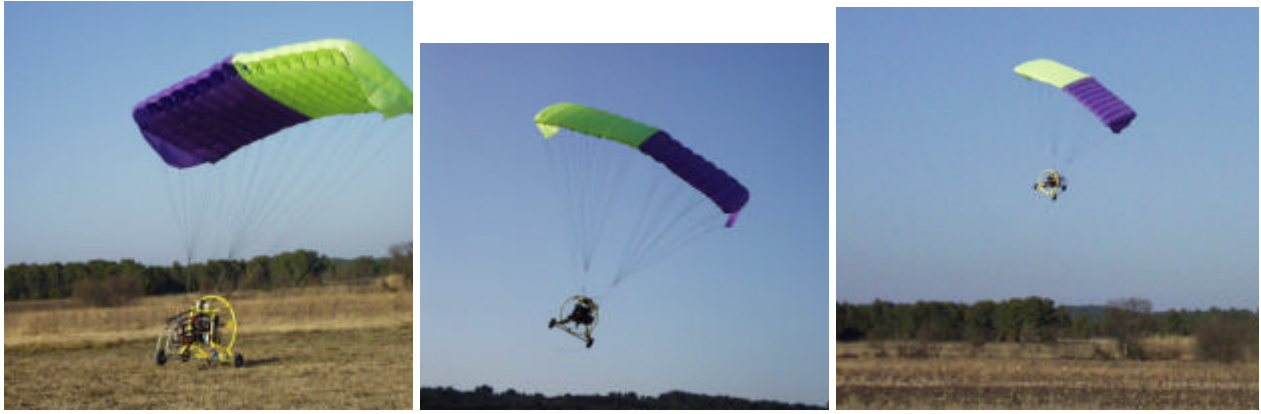
Le vent (maximum 20km/h), un pilotage à vue et le non contrôle de verticalité de l'axe de visée lors de la prise de photos demeurent les principales contraintes. L'appareil photo est fixé à une barre, de ce fait sa verticalité est assurée par son poids, ce qui s'avère insuffisant dans certaines positions. Mais le retour caméra nous permet d'estimer grossièrement cet angle.

Caractéristiques techniques (Cf. annexe 1)

Il semble utile de se procurer aussi un anémomètre afin de connaître la vitesse du vent.

Le système de sécurité "*fail safe*" coupe automatiquement le moteur lorsque la radiocommande perd le contact ou lorsqu'on ne voit plus l'appareil, il suffit de le déclencher.

Le Pixy© entre facilement dans une voiture, ce qui facilite beaucoup son transport.



Le Pixy© lors du décollage

Applications

Le Pixy© est aujourd'hui commercialisé par ABS Aérolight, il vaut de 5 000 à plus de 10000 € en fonction des nombreuses options et accessoires choisis.

Le Pixy© est surtout utilisé par des universités ou écoles. Des prises de vues de bâtiments permettent de réaliser des essais de reconstitution 3D en architecture. En agriculture, la mise au point d'une méthode automatique de comptage des betteraves, la croissance des céréales, la prédiction de maladies sur la vigne sont autant de sujets où le Pixy© est en expérimentation. Aux Etats Unis pour contrôler la couverture de déchets laissés sur les cultures, suite à la mise en place d'une prime par l'Etat, pour évaluer l'érosion ou la prévention des risques en montagne, dans un but commercial et dans un but militaire à des fins de repérage et de cartographie très détaillée, voici les principales applications de ce drone.

Le GPS

Jusqu'à présent un retour vidéo permettait de visualiser la zone à photographier et ainsi de déclencher l'appareil. Mais un décalage existe entre le retour image et la réalité et le retour n'est pas disponible lors du temps d'enregistrement de la photographie ou lors d'interférences créées par des voitures, par les lignes téléphoniques lorsque ces objets se trouvent entre le Pixy© et la réception image. Pour compléter ce système de contrôle de position, le GPS peut satisfaire certains besoins.

Trajectographie

Un GPS type navigation est suffisant pour le contrôle de la trajectoire du drone, nous ne désirons pas connaître sa position avec grande précision. La méthode est celle du positionnement absolu, un récepteur capte les messages d'au minimum 4 satellites et calcule ainsi la position des points à 5 mètres près en planimétrie et environ 10 mètres en altimétrie. Sur le Pixy© nous disposons d'un GPS Garmin Map 76, ses caractéristiques se trouvent en annexe 2.

A l'aide d'un ordinateur PC portable et d'un logiciel de navigation, on peut suivre la trajectoire du drone sur le PC et la comparer à celle prédéterminée grâce à un fichier itinéraire préalablement importé. Cela permet de contrôler le recouvrement de nos photos et de savoir si tout le terrain voulu a été couvert. Pour cela, le Pixy© est équipé d'un émetteur radio qui récupère les informations données par le GPS. L'ordinateur, quant à lui, est muni d'un récepteur branché sur la connexion COM1. Je détaillerai dans le chapitre III "Acquisition des images" ce système de suivi. On peut simplement noter qu'il serait intéressant d'enregistrer les coordonnées réelles des sommets de prises de vue ainsi que leur cap pour géoréférencer plus facilement les images et former un tableau d'assemblage des photographies.

Si par la suite, on s'aperçoit que la précision de ce positionnement n'est plus suffisante, on peut améliorer le système avec un GPS Garmin eTrex ou eMap, tout en restant dans une même gamme de prix. Avec ces GPS, il est possible de récupérer le code et le code lissé par la phase du signal. Le logiciel Async disponible gratuitement sur Internet, transforme ces informations en format Rinex que l'on peut post traiter (cf. <http://www.async.com.br/>). Ceci nous permet de transformer notre précision de positionnement absolu de 5 mètres à environ 1 mètre en planimétrie.

Positionnement

Outre la trajectographie, le GPS peut aider à définir des points terrain qui serviront à l'orientation des images.

Cette option n'est pas systématique, elle dépend des éléments à photographier. Il faut regarder et estimer auparavant si le nombre de points d'amer issu des supports cartographiques est suffisant. Si cela nous semble ne pas être le cas, des cibles placées préalablement ou des points topographiques remarquables peuvent être levés pour devenir de nouveaux points d'amer. La précision de ces points doit être suffisante. Ces points compléteront les points issus du cadastre ou de la BD Topo™, donc une précision de 0.50m serait convenable.

Pour obtenir cette précision, plusieurs cas sont possibles. On peut utiliser deux GPS en mode différentiel, un sert de pivot, l'autre de mobile, la précision obtenue est alors submétrique. Dans notre cas, nous avons à disposition un GPS Leica qui utilise le mode différentiel temps réel et qui reçoit directement les corrections du satellite géostationnaire Landsat par radio GSM. Il s'agit d'un service forfaitaire d'un montant d'environ 1000€ par an, il faut noter que l'achat du GPS est beaucoup plus onéreux environ 22 000€. Ce mode d'acquisition des données ne nécessite aucun post-traitement, son utilisation reste accessible à toute personne non spécialisée. La précision des données obtenues par cette méthode est de l'ordre de 0.50m. Cette méthode serait très profitable dans les pays sans cadastre ou sans support cartographique suffisamment précis.

Si l'on souhaite superposer des images de la même zone prises à des dates différentes, c'est à dire si l'on veut réaliser des comparaisons spatio-temporelles, des cibles ou des repères au sol immuables seront nécessaires, et on utilisera ce même procédé de levés de cibles.

Le capteur photographique

Numérique versus argentique

Un certain nombre d'avantages peuvent faire préférer une prise de vues numérique à des clichés argentiques. La photographie argentique a besoin d'être scannée pour être traitée, or lors du scannage, l'image connaît une déformation qui suit un modèle mal connu car non régulier, on approxime ce modèle par une transformation d'HELMERT. De même, une déformation lors du passage des particules sur la pellicule et de la pellicule sur le papier sont à prendre en compte, c'est ce que l'on fait en photogrammétrie lors de l'orientation interne. De plus, le scannage demande un certain temps, qui peut s'avérer fastidieux si le nombre de clichés devient important. Et la photographie une fois scannée ne contient aucune information supplémentaire contrairement au numérique où un fichier d'informations concernant les conditions de prises de vue l'accompagne.

De plus, la qualité des images numériques, de par leur excellent rapport signal sur bruit, permet certains traitements. Une excellente dynamique de l'image permet de traiter les ombres. En effet, cette dynamique montre que l'on peut récupérer plus d'informations dans les ombres que dans les images scannées, de même elles sont plus sensibles à la météorologie. Une réponse linéaire du signal permet d'effectuer une correction du voile atmosphérique. Une réponse stable met en relief des couleurs réalistes et similaires.

Par contre d'après nos expériences, un inconvénient important est la distorsion de l'appareil photographique. Nous essaierons donc de l'estimer, puis de la corriger.

Caractéristiques de l'appareil photographique numérique utilisé

On distingue les vrais reflex à visée optique et objectif interchangeable de ceux dont le zoom inamovible offre en général une variation importante, mais où le viseur est un mini écran LCD (Diode à Cristaux Liquides) derrière un oculaire. Ces derniers sont appelés «bridge », pont entre les compacts et les vrais reflex. L'appareil que nous avons utilisé - un Minolta Dimage 7Hi - correspond à ce type.

Si l'on se réfère à différents tests effectués sur notre appareil dont les résultats sont publiés sur Internet tels que ceux effectués par la FNAC, les caractéristiques suivantes sont constatées. Par rapport à des appareils similaires, l'appareil a une très bonne résolution, un bon flash, par contre son rapport signal sur bruit est médiocre. Sa rapidité est déterminée à trois secondes pour l'allumage, deux secondes pour l'inter-images et 0.9 seconde pour l'autofocus.

Ses caractéristiques sont :

- ✓ une matrice de 5.24 millions de pixels ;
- ✓ un capteur CCD (*Charge Coupled Device* - Dispositif à Transfert de Charges) 2/3 de pouces équivalent à 17mm (diagonale du capteur, valeur conventionnelle), dimension réelle du capteur 8.8 x 6.6 mm;
- ✓ la taille du détecteur est égale à 3.4 micromètres;
- ✓ la focale varie entre 7.2 et 50.8 mm équivalant en 24x36 à 28 et 201mm.

Plusieurs questions se posent quant au choix des paramètres.

- ✓ On choisirait une ouverture du diaphragme de f/2.8 à f/8.
- ✓ En ce qui concerne le mode d'exposition, gérant la vitesse d'obturation et l'ouverture du diaphragme, on privilégierait la vitesse à l'angle d'ouverture étant donné que le Pixy© est en mouvement lors des prises de vue.
- ✓ On opterait pour une mise au point manuelle à l'infini étant donné que l'appareil est à environ 150 mètres du sol.
- ✓ Il est possible de régler la balance des blancs, mais n'ayant pas d'expérience photographique, nous préférons laisser le réglage automatique.
- ✓ On nous propose de choisir le mode des couleurs : naturelles, saturées ou RVB (Rouge Vert Bleu), on utilisera les couleurs naturelles.
- ✓ La sensibilité ISO peut être réglée de 100 à 800 ASA, il faut faire un compromis entre l'ISO et le bruit de l'image. Ces valeurs correspondent à des équivalents de sensibilité ISO. ISO est la norme utilisée pour indiquer la sensibilité d'un film argentique. Le bruit en numérique est donc plus élevé à 800 qu'à 100 ISO, nous choisissons 200.

- ✓ Les tailles d'images disponibles sont 2560x1920, 1600x1200, 1280x960, 640x480, pour avoir un maximum de résolution nous réglons sur la plus grande.
- ✓ De même, différents formats peuvent être choisis :
 - RAW *.raw 12 bits convertissables en tiff en 24 ou 48 bits (pas de données complémentaires donc exclu),
 - Super fin *.tiff,
 - Très fin, fin, standard *.jpeg 24 bits couleurs ou 8 monochrome.

Volume approximatif des fichiers images en Mo

Qualité/ Définition	2560x1920	1600x1200	1280x960	640x480
RAW (1)	9.6	-	-	-
Super fin (tiff)=(1)	14.2	5.6	3.6	1.0
Très fin (Jpeg)	4.0	1.7	1.3	0.53
Fin	2.1	1.0	0.68	0.28
Standard	1.1	0.62	0.42	0.20

Nous optons pour le format tiff, soit une taille image de 14Mo.

- ✓ Etant donné la qualité, il faut au moins une carte mémoire de 256Mo soit 18 images.
- ✓ L'impression de données telles que le mois, le jour et l'heure, un texte, un numéro d'identification sur la photo est possible. Mais l'insertion de données ne peut pas être utilisée en mode de qualité d'image Super fin ou RAW ou en mode d'avance continue UHS. Par contre, ces informations figurent dans un fichier joint à la norme EXIF.

Les différents modes présents sur cet appareil sont :

- vue par vue;
- bracketing (à partir de 3 vues où l'exposition, le contraste ou la saturation changent, on en fait une, mais on ne connaît pas exactement le processus du traitement, ça ne nous intéresse pas) ;
- en continu (une rafale de plusieurs images, *cf.* tableau suivant pour les problèmes de temps d'enregistrement avec la qualité choisie) ;
- en continu haute vitesse (idem cadence environ 3 images par sec) ;
- vidéo UHS (1280x960, 7 images par seconde, non disponible avec les formats Raw et Super fin tiff) ;
- retardateur (non nécessaire dans notre cas) ;
- Intervallomètre (intervalles et périodes programmés, voir avec le pilotage et les conditions d'enregistrement).

Mode continu et continu haute vitesse : nombre de photos prises

Qualité/ Définition	2560x1920	1600x1200	1280x960	640x480
RAW (1)	5	-	-	-
Super fin (tiff)=(1)	3	3	3	3
Très fin (Jpeg)	7	12	15	33
Fin	10	19	27	61
Standard	17	29	42	84

(1) Quelques secondes sont nécessaires pour enregistrer les images sur la carte mémoire : 7 secondes pour une photo isolée, 20 pour une série de 3.

Le mode choisi sera "vue par vue" étant donné qu'un coup de vent peut très vite changer la direction originale du Pixy©. Cependant le mode continu peut se déclencher automatiquement si l'on rapproche les prises de vue, donc dans certains cas, il peut nous être utile.

Le fichier entête de l'image contient les informations concernant la focale, la valeur de l'ouverture de diaphragme, la vitesse d'obturation, l'heure et la date de prises de vue, la balance des blancs, les modifications apportées au contraste et à la saturation de couleurs par le

contrôleur d'effets numériques ainsi que les éventuels traitements apportés par un programme-résultat ou une modification de la netteté.

Le programme résultat sélectionné reste actif jusqu'à ce qu'il soit modifié par l'opérateur : Portrait, Sport, Coucher de soleil, Portrait de nuit, Texte.

- Portrait – Programme idéal pour le rendu de portraits aux teintes douces sur fond flou.
- Sport – Programme spécifique pour prise de vues sur des sujets en mouvement. Suivi en autofocus et hautes vitesses d'obturation.
- Coucher de soleil – Programme spécifiquement adapté au rendu chaleureux des couchers de soleil.
- Portrait de nuit – Programme idéal pour photographier des personnages au flash tout en préservant l'ambiance d'un fond de nuit illuminée.
- Texte – Programme pour la reproduction de textes noir sur blanc avec les meilleures conditions de contraste et de netteté.

Le programme Sport semble le plus adapté.

Ces options ont été choisies car elles sont plus adaptées à notre cas où l'appareil est accroché au paramoteur Pixy©.

Si l'on souhaite imprimer une image, la formule de calcul de la zone imprimable de bonne qualité est la suivante : on multiplie la largeur en points par résolution par 2.54 sur la hauteur en points par résolution par 2.54. ceci revient à multiplier la largeur par la hauteur de l'impression. L'impression conseillée pour une qualité minimum est de 200ppp (équivalent 300ppp en argentique) en résolution 2560 x 1920 et pour du tirage en 32 x 25 cm.

ppp : points par pouce, équivalent anglais dpi : dots per inch

ACQUISITION DES IMAGES

Après avoir décrit le chantier avec ses spécificités et les principaux matériels utilisés, précisons les conditions et les procédés d'acquisition des images. En effet, nous cherchons à rendre cette phase la plus productive possible, l'objectif étant d'obtenir un tableau d'assemblage dès la fin de l'acquisition.

Les conditions de vol

Paramètres de vol

On estime que les erreurs d'attitude de l'appareil sont négligeables, de plus on fait en sorte de les minimiser, car nous ne disposons pas de matériels, type gyroscope, pour évaluer ces angles. La verticalité est assurée par la gravité de l'appareil photographique, celui-ci étant fixé à un support totalement mobile, avec de petits vérins hydrauliques jouant le rôle d'amortisseurs. Nous interdisons les prises de photos lors des amorces de virages, la verticalité n'étant plus assurée.

Grâce à son système de voile, le moteur n'étant pas la seule source d'énergie, les vibrations de l'ensemble sont supposées minimales.

La hauteur de vol est fixée aux environs des 200 mètres, ainsi on obtient une scène équivalente à 200x160mètres, la focale choisie est proche de 35mm. Nous valorisons une petite focale pour que la scène soit la plus grande possible. Cependant, nous avons écarté la focale de 28mm pour limiter les déformations sur les bords de la photographie et les forts dévers.

Dans cette configuration, la taille du pixel au sol vaut aux alentours de 0.10m. La taille du pixel au sol peut être calculée de deux manières. On utilise la hauteur de vol, la valeur de la focale donnée par le fichier EXIF (8.34mm) et la taille d'un détecteur (3.4µm).

Le problème principal est ici l'estimation de la hauteur de vol :

- soit elle nous est donnée par le GPS et le logiciel de suivi sachant que sa précision est de l'ordre d'une dizaine de mètres,
- soit on la calcule avec des distances connues sur l'image, cela nous amène à la deuxième méthode. Cette deuxième méthode consiste à déterminer la taille du pixel au sol en faisant un produit en croix avec une distance connue en mètres, son équivalent en pixels, ce qui nous donne pour un pixel sa valeur au sol. C'est cette dernière méthode que j'ai utilisée, n'ayant pas pour le moment les informations issues du logiciel de suivi. Déterminée pour une dizaine d'images, la taille varie entre 0.08m et 0.12m, on choisira pour la suite des calculs une moyenne de 0.10m.

Tableau du calcul de la taille du pixel au sol

d distance sur BD Topo

Taille du détecteur 3.4.10e-6

d' distance sur photo

Ratio 2560x1920 = 4x3

Id	N° photo	Focale, en m	d en m	d' en pixel	x pixel sol
4	A10	0.00834	178.9	1798	0.099
1	G11	0.00834	281.5	2453	0.115
3	G12	0.00834	233.6	1990	0.117
7	G13	0.00834	239.4	2048	0.117
5	G14	0.00834	253	2155	0.117
6	A2	0.00834	187.8	2310	0.081
	A3	0.00834	182.7	2234	0.082
2	A5	0.00834	210	2484	0.084

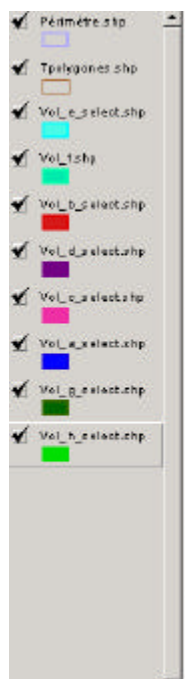
Le recouvrement idéal des images serait de 50% ou plus. Le seul moyen de contrôler ce recouvrement est d'estimer une vitesse moyenne du drone (25km/h soit 7m/s) et d'en déduire une cadence des prises de vue. Mais la vitesse du paramoteur peut facilement varier selon le sens du vent et en fonction des coups de vents. C'est pour cela, qu'un logiciel de suivi du Pixy© serait plus efficace, pour évaluer et contrôler le recouvrement.

Paramètres de mission

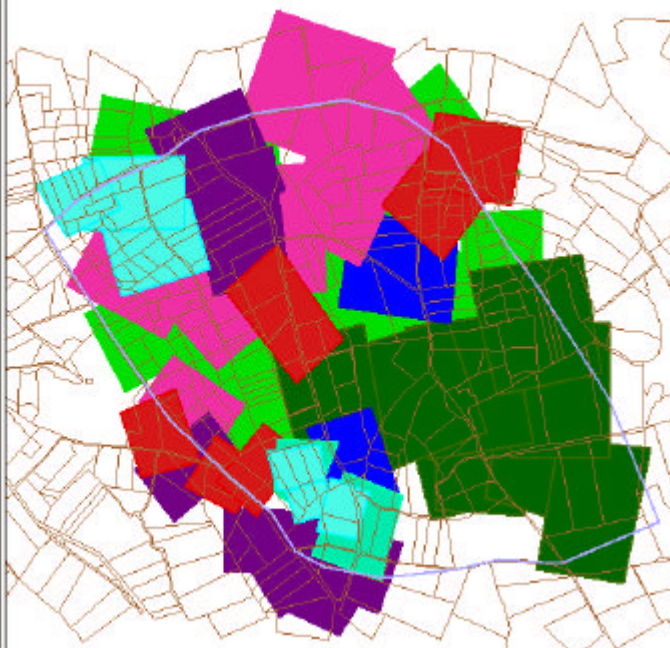
On choisit un fond de carte pour visualiser le plan de vol et on effectue le géoréférencement de cette carte. Les coordonnées choisies doivent être celles de la projection WGS 84 (pour avoir une comparaison immédiate avec les données GPS) ou RGF 93 pour garder la précision des coordonnées. Surtout évitons de perdre en précision en utilisant la projection Lambert cartographique.

L'objectif d'un plan de vol est de minimiser le nombre de bandes et de clichés afin d'optimiser la rentabilité. Le choix des bandes se fait suivant la forme du terrain à couvrir, suivant les obstacles dus à la situation topographique, le cap à respecter et les conditions météorologiques (force et direction du vent, inclinaison du soleil, etc). Il est donc difficile de prévoir ces paramètres, sauf si l'on a par avance une connaissance des lieux et des conditions météorologiques du secteur.

Un premier tri des photos a été effectué pour retirer les superpositions. Les couleurs correspondent à différents vols. Sans logiciel de suivi du Pixy© et des prises de vue, il est difficile de recouvrir une zone donnée entièrement.



Résultat des photos prises avec le seul retour image



Le recouvrement inter et intra bandes est choisi en fonction de la précision avec laquelle on peut télécommander le paramoteur. L'essentiel est de s'assurer que les images obtenues se recouvrent entre elles afin de ne pas avoir de "trous". Le logiciel de suivi sera là aussi d'une grande utilité, car on peut estimer avec le retour image le recouvrement mais si la surface devient importante, l'estimation devient difficile. Le retour image sert davantage pour déclencher les photos au moment où les parcelles apparaissent entièrement ou lorsque la configuration de l'image possède le plus de points de repère.

Avant de partir sur le terrain pour les prises de vue, il semble nécessaire d'observer avant les points d'amer donné par les supports cartographiques. Pour le bassin de Roujan par exemple, les points d'amer issus du cadastre semblent globalement suffisants pour répondre aux besoins du géoréférencement. On s'aperçoit que le problème peut se poser lorsque l'on est en présence

de grandes parcelles et qu'une parcelle n'est pas entièrement visible sur une photographie. Dans ce cas, les points d'amer manqueront obligatoirement, il sera donc nécessaire de placer des cibles dans ces parcelles avant la prise de photos. Ces cibles doivent être bien visibles, ce sont des plaques de plexiglas ou autres composants blanches, de dimensions 0.25x0.25m. Elles sont posées de préférence sur un piquet de vigne, pour que la végétation ne risque pas de les cacher.

NB : nous n'avons malheureusement pas utilisé de cibles dans les premières missions que nous avons réalisées, pensant que les points d'amer étaient suffisants.

Le pilotage

Jusqu'à présent le plan de vol n'était pas très structuré, la photographie était prise lorsque la position du parapente dans le ciel et le retour donné par la vidéo embarquée semblaient corrects. La gestion de bandes de photos en un seul passage, le respect d'un pourcentage de recouvrement et d'une base temporelle entre deux prises de vue auraient permis de mieux gérer le recouvrement entre clichés, de limiter les différences d'altitudes entre deux prises de vue et d'avoir des déformations moindres. Mais étant donné les difficultés de respecter un cap, ces procédés semblent difficiles à mettre en œuvre. .

Les conditions de pilotage dépendent des conditions météorologiques et de la distance qui sépare le pilote de l'aéronef.

Le Pixy© garde t-il une altitude à peu près constante pendant un certain temps ou non ? D'après les images obtenues, l'altitude ne varie pas de façon remarquable, la variation de la taille au sol du pixel nous le confirme.

Olivier HUTTEL, électronicien au laboratoire, a connaissance de quelques expériences en matière de modélisme et de pilotage notamment de petits hélicoptères. Il lui semble réalisable d'effectuer un pilotage automatique du Pixy© en entrant un trajet dans le GPS et en le comparant au trajet réel. Des moteurs agiraient sur les treuils pour faire changer de direction le paramoteur. C'est une évolution qui peut être très intéressante.

Le système de suivi de pilotage et de prises de vue

Il existe différents logiciels de suivi, on peut en télécharger gratuitement sur Internet, mais Christian SIMON, créateur du système émetteur récepteur GPS du Pixy©, a conseillé d'acquérir l'extension d'Arcview, Tracking Analyst.

L'utilisation du logiciel Tracking Analyst™

Prix 861^E version éducative, recherche

L'utilisateur doit déjà bénéficier d'une licence d'ArcView™ 3.2 : (prix 775^E version éducative, recherche).

L'extension d'ArcView™ permet de suivre le vol du Pixy© grâce au récepteur GPS embarqué sur l'appareil. Un système d'émetteur récepteur permet de recevoir les données GPS directement sur l'ordinateur, à partir de phrases NMEA à 4800 bauds par connexion locale COM1. Nous suivons donc l'évolution du Pixy© en direct : celle-ci est matérialisée par une polyligne et par un point toutes les 2 secondes. Tracking Analyst crée un "Goevent" contenant diverses informations qui varient suivant la phrase NMEA choisie ; pour avoir l'altitude nous choisissons la phrase GGA qui nous donne les informations suivantes : heure, latitude, longitude, altitude. (cf. annexe 3)

Résultats de l'identification		
1: track2.shp - 157	Shape	GeoEvent
2: track2.shp - 150	GeoEvent_Height	142.200000
	Track_id	gpsunit1
	GeoEvent_Time	Mar Avr 29 09:27:28 2003
	GeoQuality	2
	Numsats	7
	Hdop	2.100000
	Antenna	M
	GeoSep	49.300000
	GeoSepun	M
	DilRate	0.000000
	Diltheid	0

Informations liées à un point donné

On peut attribuer une légende aux Goevents afin de connaître indirectement l'altitude à laquelle on vole (changement de couleurs). Pour de plus amples détails sur l'utilisation du logiciel, aller voir l'annexe 4.



Exemple de suivi de la trajectoire du Pixy©, différenciation suivant l'altitude

La réalisation assistée du tableau d'assemblage

Ce script crée par JM ROBBEZ MASSON permet de matérialiser par des rectangles l'emprise supposée des photographies prises. On entre un certain nombre de paramètres pour initialiser le projet, tels que la valeur GPS de l'altitude initiale pour qu'il puisse calculer la hauteur de vol, la focale de l'appareil photo et les dimensions du capteur de l'appareil. Lors d'une prise de photo, on déclenche le script en appuyant sur F12, le rectangle se dessine alors en prenant comme centre le Goevent le plus proche et comme orientation le cap suivi par le Pixy©.

Ce script permet d'avoir une vision globale des photos prises, d'avoir une bonne idée des recouvrements entre photos et de savoir si la mission semble accomplie.

Cette réalisation est une aide et permet un premier tableau d'assemblage approximatif, étant donné que les erreurs d'attitude ne sont pas prises en compte.

Le script a été testé avec succès en complément de deux extensions ArcView™ dédiées au suivi de mobiles (DNR Garmin-ArcView et Tracking Analyst™), un récepteur GPS étant embarqué sur le toit d'un véhicule roulant. Mais il n'a pu encore être utilisé avec le Pixy© du fait

de problèmes de communication radio entre le GPS embarqué et l'ordinateur portable placé au sol.

La correction de la distorsion due à l'appareil numérique

Après avoir étudié le système de suivi, nous allons expliquer la première correction appliquée aux images dues à l'optique de l'appareil photographique.

La distorsion radiale est due aux lentilles sphériques de l'optique. Dans le domaine du numérique, les focales employées sont beaucoup plus courtes que celles utilisées en 35 millimètres. Celles-ci sont en relation directe avec la surface du capteur CCD ; de ce fait, la correction des différentes distorsions est plus complexe, c'est pourquoi il est rare de trouver un appareil numérique avec un grand angle équivalent à plus de 28mm.

La distorsion la plus fréquente en grand angle est la distorsion en barillet. Elle se traduit par un aspect courbé vers l'extérieur des droites horizontales et verticales qui se trouvent en bordure de l'image. L'aberration sphérique se produit sur des lentilles simples à courbure constante (sphérique) : la distance focale varie du centre de la lentille à ses bords, les lentilles asphériques permettent de diminuer ce phénomène, mais il est toujours présent. Pour obtenir une image en grand angle la plus naturelle possible, il faut parvenir à corriger cette déformation au maximum.

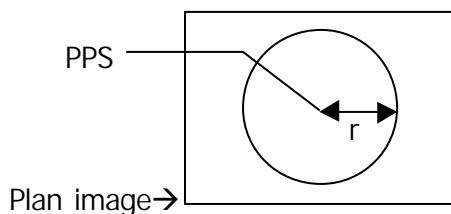
Pour connaître la distorsion, une seule méthode existe, étalonner l'appareil photographique. L'étalonnage permet de déterminer pour une focale donnée en pixels, les points principaux d'autocollimation et de symétrie ainsi que les coefficients du polynôme de distorsion radiale.

Le point principal d'autocollimation (PPA) correspond à la projection du nadir sur le plan image. Le point principal de symétrie (PPS) concorde avec le centre de distorsion. Le PPA et le PPS ne sont pas confondus lorsque le film ou le capteur ne sont pas parallèles à l'ensemble des lentilles.

La distorsion est radiale, on suppose alors que les lentilles de l'optique sont parallèles et centrées entre elles, si ce n'est pas le cas, une distorsion tangentielle existe. La distorsion tangentielle est rare en numérique, la distorsion radiale est matérialisée par un polynôme de degré 7 : $f(r) = ar^3 + br^5 + cr^7$.

r est la distance en pixel, entre le centre de distorsion et un point de l'image.

Les coefficients a , b , c sont déterminés lors de l'étalonnage.



Tous les points à égale distance du PPS ont la même distorsion. Si une distorsion tangentielle existe le cercle devient une ellipse.

Lors de nos prises de vue, l'appareil photographique était réglé sur une focale équivalant approximativement à 35mm, plus précisément grâce au fichier joint à l'image, 32 mm équivalence 24x36, soit 8.34mm de focale réelle. Sur notre appareil, la focale varie de 28mm à 201mm. Lorsque l'on effectue un étalonnage pour une focale, il est préférable que celle-ci soit bloquée. Mais pour ne pas limiter l'usage de l'appareil, nous allons effectuer plusieurs étalonnages à différentes focales et supposer que le mécanisme du changement de focales bouge de manière négligeable d'une position à un temps t à cette même position au temps $t+1$. De même, comme on ne peut savoir exactement à l'avance la valeur de la focale, nous procéderons à une interpolation des valeurs des étalonnages pour la focale voulue. Cependant, il

reste préférable d'opérer un test avant la prise de vue pour régler la focale à une valeur étalonnée.

Cf. annexes 15, 16, 17 et 18

L'étalonnage a été réalisé à l'ESGT, qui a mis en place un polygone d'étalonnage. Le principe est de connaître exactement les coordonnées de cibles placées dans des plans différents pour que l'espace en 3 dimensions soit représenté. La distorsion étant radiale et notre matrice rectangulaire, la valeur la plus forte de la distorsion se trouve dans les coins des images. Il faut donc veiller, lorsque l'on prend les photos des cibles, à ce qu'elles soient présentes dans les coins. Plusieurs photos doivent être prises pour déterminer au mieux le polynôme de distorsion. Ensuite grâce au logiciel Eta développé par M. Paparoditis, chaque cible est pointée sur les différentes images. Avec les coordonnées connues à moins du millimètre et les différentes coordonnées image, le logiciel détermine le polynôme de distorsion et nous trace un schéma avec les résidus après correction. Ces résidus doivent paraître aléatoires, sinon cela signifie qu'une autre erreur existe et n'a pas été prise en compte. Dans les annexes, des graphiques montrent l'évolution des valeurs suivant le nombre d'images utilisées pour le calcul.

Après la détermination des différents paramètres nécessaires pour corriger la distorsion, il faut appliquer cette correction aux images. Pour cela, le logiciel Distorsion également développé par M. Paparoditis, demande les valeurs des coordonnées du PPS en pixel ainsi que les coefficients R3, R5 et R7 du polynôme.



Photo H17

Zoom sur photo corrigée

Zoom sur photo non corrigée

Les deux zooms sont liés, ils correspondent aux mêmes lignes, colonnes de l'image.

Le plus grand décalage qui existe sur une image de notre chantier (focale de 8.34mm), vaut pour $r=1600$ pixels (demie-diagonale), 39 pixels soit 3.9 mètres. On s'aperçoit que la distorsion n'est pas du tout négligeable, cela s'explique par la grande taille de la matrice de l'appareil.

Problèmes rencontrés, améliorations

Lors de l'expérimentation du procédé d'acquisition des photographies, plusieurs problèmes ou défauts sont apparus.

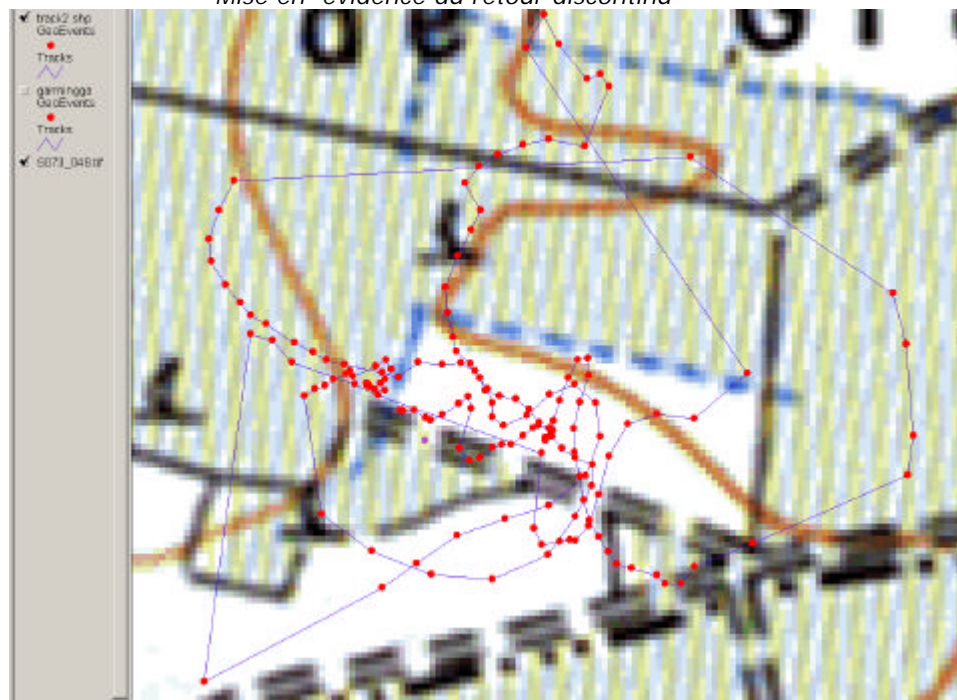
Tout d'abord des problèmes de charge de batterie sont survenus. Comme le Pixy© comporte de nombreuses batteries, il serait intéressant d'avoir des indicateurs de charge sous forme visuelle ou sonore. A l'heure actuelle, si une seule batterie fait défaut, toute la chaîne de production est mise en échec. On ne s'en rend pas forcément compte immédiatement et la perte de temps peut être importante, si le Pixy© est en vol.

Nous avons rencontré des difficultés de charge avec la batterie de l'appareil photographique, pourtant équipé d'une batterie externe. Mais apparemment, lorsque la batterie externe est branchée, les batteries internes ne peuvent alimenter l'appareil même si les batteries externes sont vides. Il faut alors débrancher les batteries externes, ce qui n'est pas très pratique. L'ordinateur portable a également besoin d'être alimenté, la solution consiste à brancher un modulateur sur l'allume-cigares de la voiture. La batterie du récepteur GPS nous a également fait défaut, or cet élément est censé ne pas consommer beaucoup d'énergie. Sa décharge est peut-être due aux problèmes de connexion rencontrés expliqués dans le paragraphe suivant. Les batteries du GPS embarqué peuvent, elles aussi, faire défaut. Toutes ces observations ont eu lieu lors d'une journée d'acquisition.

Les batteries qui ne posent pas de problèmes sont celles de la radiocommande, des treuils et du retour image. La mise en charge des batteries la veille du chantier est très lourde et ce sont elles qui nous limitent le plus lors de l'acquisition des images. Une solution d'amélioration du système serait à réfléchir.

Par ailleurs, un problème plus important se pose lors de l'acquisition des prises de vue. Le suivi de l'évolution du Pixy© n'est pas régulier, des sauts et des retards de points sont visibles sur l'écran. Le script des emprises des photos ne fonctionnent pas dans cette procédure.

Mise en évidence du retour discontinu



A gauche saut de 20 secondes
Au milieu saut de 36 secondes
En haut saut de 18 secondes
En travers en haut saut de 12 secondes

Nous avons effectué plusieurs essais. Lors d'un essai, le GPS embarqué s'est éteint, or nous venions de changer les piles donc on peut se demander s'il s'agit d'un mauvais contact, d'une surtension ou d'un moyen de sécurité qui a fait arrêter le GPS. Cependant, avant que le GPS ne s'éteigne, il y avait déjà des sauts de points. Nous ne recevons pas les points toutes les 2 secondes. Certains arrivent en retard et d'autres n'arrivent pas du tout. Ces intervalles irréguliers ne nous permettent pas d'utiliser le script traçant l'emprise de photos correctement.

Cela peut venir d'une mauvaise connexion radio, étant donné que le procédé fonctionne dans un véhicule. Christian SIMON a vérifié le bon fonctionnement de l'émetteur et du récepteur, une soudure était mal faite, mais il ne pense pas que le problème vienne de là. S'il y avait une mauvaise connexion, cela donnerait des points faux, mais non des manques.

Lorsque l'on fait un essai avec un autre GPS, câble et émetteur, les mêmes problèmes surviennent. Lorsque l'on observe le signal reçu par l'hyperterminal du PC, on s'aperçoit que le signal connaît des interférences, des problèmes de bruit. En fait, ce seraient les vibrations du moteur qui causent ces irrégularités. Jean ASSELINE va donc essayer de pallier ce problème pour obtenir un suivi régulier du Pixy©.

En l'état actuel de l'avancement, l'objectif de cette partie n'a pas été réalisé, nous ne pouvons obtenir le tableau d'assemblage lors de l'acquisition des images. Cependant, nous avons fixé un certain nombre de paramètres à respecter lors de cette acquisition.

ORIENTATION ET MOSAÏQUAGE DES IMAGES

Orientation des images

L'orientation d'images consiste à faire subir à une image brute des déformations afin de faire coïncider la réalité terrain avec un système de coordonnées d'une projection donnée.

Le redressement d'images

Le redressement d'images (*Image Registration*) correspond à la superposition d'images, où l'on met en correspondance des points de repère de deux ou plusieurs images différentes superposées. Le logiciel ENVI offre deux possibilités : les méthodes nommées respectivement "*Image to Map*" et "*Image to Image*". Ces méthodes correspondent à ce qu'on appelle le redressement d'images, gardons à l'esprit que le redressement est un procédé de planimétrie s'appliquant à la géométrie d'une image. C'est à dire que des déformations planes sont appliquées à l'image suivant la disposition d'éléments remarquables tels que les points d'amer. Le redressement ne permet pas de tenir compte explicitement du relief, ni de la géométrie de perspective.

La méthode "*Image to Map*" ou de l'image à la carte

Cette méthode consiste à géoréférencer une image grâce à une correspondance effectuée avec des coordonnées géographiques XY de points connus sur une carte. Ces points correspondent aux points d'amer.

Une collection de points d'amer possibles est générée par un script dans ArcView™, à partir des coins du parcellaire dans notre cas. Une fois pointées, les coordonnées image des points et leurs coordonnées carte équivalentes sont rassemblées dans un tableau nommé GCPs (*Ground Control Points selection*). A partir de quatre points, un polynôme de degré 1 de déformation peut être calculé, le tableau indique alors les erreurs RMS (*root mean square* = écart moyen quadratique). L'opérateur peut ensuite augmenter le degré du polynôme suivant le nombre de points et suivant le modèle qu'il souhaite générer. Il est préférable que les erreurs RMS soient les plus petites possibles. Or dans notre cas, les erreurs sont importantes, jusqu'à 60 pixels facilement, soit 6 mètres.

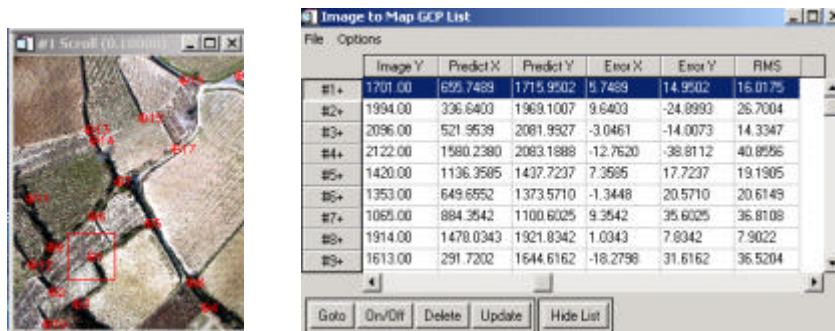


Image avec ces points d'amer, suivi de la liste des RMS

Ces erreurs s'expliquent par le fait que les limites de parcelles ne sont pas bien définies, lorsqu'il y a des **haies**, on ne sait pas si elles sont mitoyennes, privatives et à qui elles appartiennent. Pour les cultures (**terres labourées**) il est courant que la limite se décale s'il n'existe pas de bornes visibles et matérialisées, et que la limite se fait avec un bosquet. On ne discerne pas bien sur les images **le haut du bas des talus**, c'est à dire le propriétaire du talus et donc la limite. De même la limite du **domaine public** n'est pas fiable (droit d'élargissement des routes sans modification du parcellaire jusqu'à 10% de la surface de la parcelle du propriétaire). L'occupation du sol de la BD Topo™, où figure l'intersection des carrefours serait une bonne marque topographique, or les points issus de l'occupation du sol n'apparaissent pas forcément dans les points d'amer. La BD Topo™ n'est donc pas très utile à l'échelle à laquelle nous travaillons. De plus, étant donné le nombre de photos à géoréférencer (une cinquantaine), il n'est pas concevable de lever au GPS chaque point d'amer.

L'erreur RMS peut également s'expliquer par une variation de relief importante sur l'image.

La méthode "Image to Image" ou de l'image à l'image

La méthode *Image to Image* consiste à partir d'une première photo n géoréférencée, à géoréférencer la photo $n+1$, puis la suivante $n+2$ par rapport à $n+1$. De proche en proche, on rend donc compatibles les images entre elles. Puis on géoréférence l'ensemble par rapport à un support possédant des coordonnées XY cartographiques. La technique de géoréférencement est alors la même que pour la méthode *Image to Map*, les valeurs de RMS obtenues sont du même ordre puisque les points d'amer choisis sont les mêmes. Mais on peut s'attendre à un meilleur raccord entre les images successives.

L'avantage de la méthode *Image to Image* est que tous les points d'amer ne sont pas imposés à l'avance, et tout point de l'image n peut être point d'amer pour l'image $n+1$. Des coordonnées cartographiques ne sont pas nécessaires dès la première étape, ce qui supprime une opération. Mais on peut avoir un décalage important lors du géoréférencement de la dernière photo ou tout au moins de la photo la plus éloignée de la première et la mosaïque des photos peut présenter une qualité moindre. On peut se demander si des points GPS introduits sur la mosaïque obtenue suffiront à rectifier les décalages.

Méthodes de calcul de géoréférencement

Après avoir vu les méthodes de géoréférencement, il faut étudier également les différences entre les méthodes de calcul des déformations. Effectivement après avoir entré les coordonnées des points d'amer, on applique une déformation à partir de ces points. Cette déformation peut suivre plusieurs modèles mathématiques. Le logiciel Envi® nous en propose trois : (i) le calcul par RST (Rotation, Scaling = Homothétie, Translation), (ii) celui qui suit une fonction polynomiale de degré variable suivant le nombre de points d'amer et (iii) celui qui applique la triangulation de Delaunay.

En superposant le cadastre aux différentes photos géoréférencées (cf. annexe 20), on s'aperçoit que les limites du cadastre sont mieux respectées avec la méthode de la triangulation. Les résultats obtenus avec la méthode du polynôme ne conviennent pas du tout au degré 3, des déformations exagérées sont visibles sur la photo. La méthode RST et la fonction polynomiale de degré 1 présentent quant à elles un décalage important avec le cadastre.

On remarque que la grande parcelle à l'est de ce carrefour ne possède pas suffisamment de points d'amer et qu'elle n'est pas représentée entièrement sur une seule photographie, ce qui va nous poser des problèmes de raccords lors du mosaiquage. Les rangs de vigne apparaissent déformés.

Dans cette autre situation (cf. annexe 21), on met en évidence le problème de la répartition des points d'amer, on s'aperçoit que les résultats de la méthode polynomiale de degré 2 sont les plus aberrants. La méthode RST donne une image fortement décalée et la polynomiale de degré 1 présente un décalage plus faible. Les résultats obtenus avec la méthode par triangulation demeurent les plus précis, mais la surface de l'image obtenue est fortement réduite (dans cette méthode, seule la surface contenue dans le polygone convexe liant tous les points d'amer – est géoréférencée).

Que conclure sur les méthodes de calcul ? Par choix, la méthode par triangulation est écartée, car l'expérience a déjà été faite lors du TFE de A-L. Padovan : on rencontre des problèmes de raccords : rupture de rangs de vigne, alignements non respectés. De plus, cette méthode réduit fortement la grandeur de la scène, le recouvrement des photos ne semble pas suffisant pour l'utiliser. Les autres méthodes RST ou polynomiale degré 1 ou 2 sont utilisables suivant la disposition et le nombre des points d'amer. Mais pour ne pas tester les méthodes à chaque image (quoique cela reste faisable puisqu'on réutilise les mêmes points d'amer, il faut simplement relancer le calcul et comparer les résultats), nous privilégierons la fonction polynomiale de degré 1 pour le redressement montrant dans nos exemples les décalages les plus minimes.

Cependant, le redressement s'avère ne pas convenir aux images obtenues lors du chantier, le relief ne semble donc pas négligeable. C'est pour cela que nous allons nous pencher sur la méthode d'orthorectification.

Orthorectification

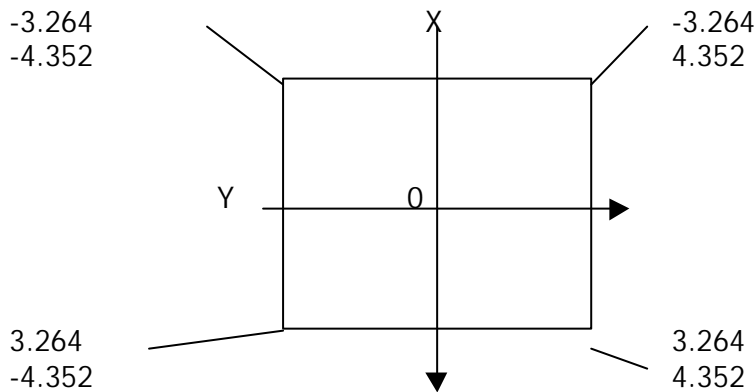
L'orthorectification est la seule méthode que propose ENVI® pour prendre en compte explicitement le relief, elle se fait :

- pour des photographies argentiques numérisées (il faut disposer des paramètres de l'orientation interne - *aerial orientation* - que l'on stocke dans un fichier *.ort) ,
- et pour des images Spot ayant un fichier *.dat contenant les informations des éphémérides des satellites.

Or, nos images sont issues d'une caméra numérique. Nous allons donc, utiliser la fonction d'orthorectification pour image argentique en créant nous-même un fichier fictif pour l'orientation interne.

Un exemple de fichier issu de **l'orientation interne** dans l'aide, nous permet de déduire la logique du repère. L'origine est au centre de la photo, l'axe des abscisses porte le Y et celui des ordonnées le X, les coordonnées sont marquées (x, y) au début du fichier, les coordonnées sont en millimètres. Le sens positif des abscisses est vers la droite et celui des ordonnées vers le bas.

Notre matrice de capteur comprend 2560 x 1920 détecteurs, la taille du détecteur est de 3.4 micromètres, on obtient donc le schéma suivant.



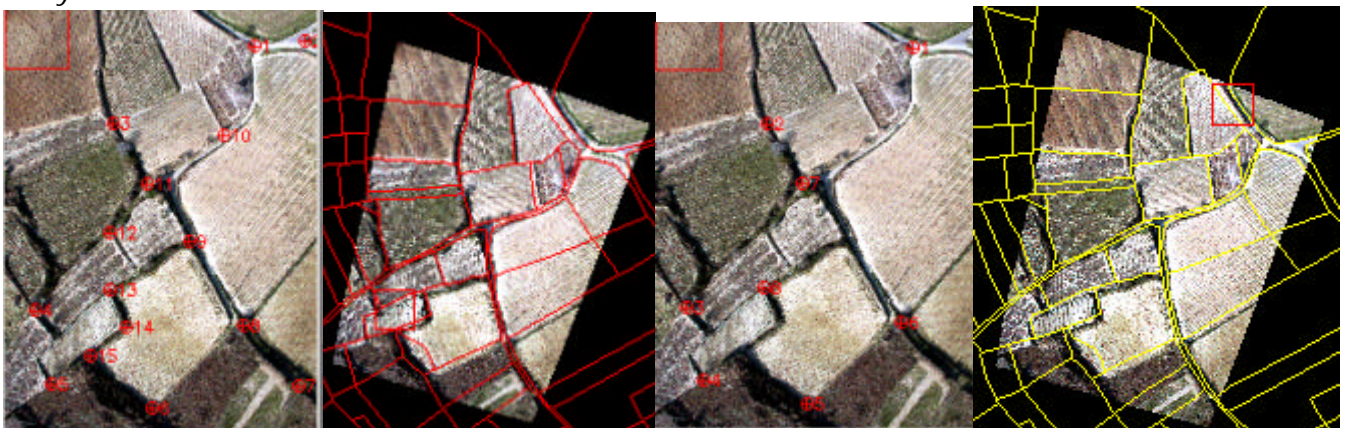
Attention si votre image de départ a subi une rotation, n'oubliez pas de la faire subir également aux coordonnées !

Après avoir entrée la focale réelle (attention ! pas l'équivalence 24x36mm) dans notre cas 8.34mm et les coordonnées en millimètre et en pixel, l'orientation interne "fictive" est réalisée. Les résultats sont visibles dans le fichier .ort (cf. annexe 22).

Ensuite, l'orientation externe doit être accomplie. Elle se décompose en 2 phases : (i) l'orientation relative ou la formation du modèle et (ii) l'orientation absolue. L'orientation relative consiste à agir sur les éléments externes (position du sommet de prise de vue, site, déversement, convergence) de sorte que les rayons homologues se coupent. L'orientation absolue consiste à mettre le modèle à l'échelle voulue et à l'orienter dans l'espace en utilisant des points d'appui connus sur le terrain.

Pour effectuer l'orthorectification, il suffit d'entrer les points de liaison, les coordonnées carte, les coordonnées image et les élévations, de préciser la focale et le fichier *.ort. Celui-ci se complète des informations sur la valeur des angles phi, oméga, kappa. (cf. annexe 22) Enfin, l'image, le fichier .ort et le MNT (DEM en anglais) permettent l'orthorectification (menu "Orthorectify Air Photo").

Analyse des résultats



15 points de liaison,
valeur RMS : 23pixels

8 points de liaison
RMS : 21 pixels

On s'aperçoit que l'orthorectification nécessite moins de points d'amer. En effet, si l'on passe de 15 à 8 points la valeur des erreurs reste la même.

D'après l'analyse des résultats, (cf. annexe 23) la méthode par orthorectification qui doit tenir compte du relief, n'améliore pas les décalages déjà connus par redressement. Nous devons rechercher alors d'autres phénomènes qui peuvent expliquer ce mauvais assemblage.

L'appareil photographique étant numérique, la **distorsion** peut être responsable des erreurs de décalage. En effet la distorsion - négligeable sur les appareils argentiques - peut être très importante sur les appareils numériques.

Remarque: la distorsion a été corrigée après avoir effectué ces premiers essais, les images corrigées de la distorsion ont été utilisées par la suite avec la méthode de l'orthorectification, les résultats sont donnés dans le chapitre des estimations des décalages.

La **précision du MNT** ou celle des **points d'amer** peuvent également entrer en ligne de compte.

Lors de recherches sur le site anglais d'Envi®, à la question "Envi supporte t-il l'orthorectification ?", la réponse a été la suivante : ENVI orthorectifie à partir de MNT, de carte, d'une autre image, mais n'orthorectifie qu'en X,Y et non en Z, ce serait l'origine de notre problème. Ce logiciel produit initialement pour traiter des images satellitaires, ne supporterait donc pas l'orthorectification en tenant compte du relief. Pourtant le support technique assure l'inverse, puisque l'on donne les informations relatives au relief aux points de liaison.

Lors de la lecture d'un autre document sur les orthorectifications d'Envi trouvé sur leur site web, on s'aperçoit que des conditions extravagantes sont nécessaires pour réussir une orthorectification de précision inférieure au mètre. Les points de liaison doivent être connus avec une précision submillimétrique, le MNT doit être de préférence à une précision supérieure ou égale à l'image de départ. Dans notre cas, l'image origine a une résolution de 0.10 m, il faudrait donc un MNT dont la précision serait égale ou inférieure à 0.1m, autant dire que ceci est irréalisable dans notre projet !

Mosaïquage

Après chaque géoréférencement d'image, on effectue le mosaïquage.

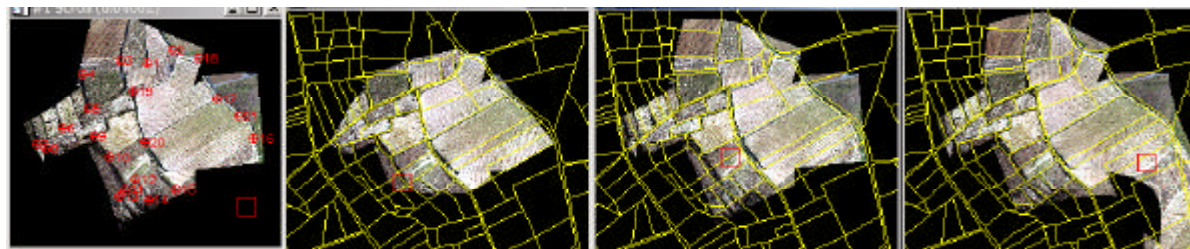
Comme mon stage s'oriente principalement sur l'aspect géométrique du traitement des images, le traitement radiométrique n'a pas du tout été abordé. De surcroît ce traitement ferait perdre les détails des images tels que chaque pied de vigne.

Le mosaïquage se fait au fur et à mesure du géoréférencement des images en indiquant une ligne de coupe. La ligne de coupe est une ligne qui permet de déterminer la frontière d'une image à une autre.

Au début, j'utilisais le script d'AL Padovan pour créer les lignes de coupe, il permettait de choisir une ligne en fonction de la géométrie des enveloppes convexes formés par les points d'amer sous ArcView™ puis de les importer. Mais très vite, on s'aperçoit que la ligne de coupe a besoin d'être tracée à la main pour choisir le meilleur endroit, par exemple dans les zones sombres de l'image et pour éviter les coupures contrastées.

Le mosaïquage met en évidence les défauts déjà relevés lors du géoréférencement.

Recalage sur la mosaïque



21 points d'amer

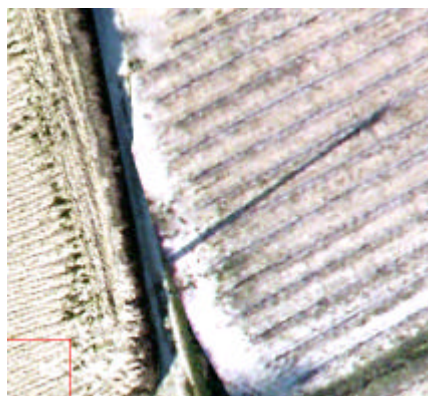
Triangulation
Recalage bon

RST
Décalage 5-10 m

Polynôme degré 2
Forte déformation

Le test qui consiste à géoréférencer l'ensemble des images une fois mosaïquées, avec de nouveaux points semble améliorer le calage du bloc créé en utilisant la méthode de la triangulation. Mais les imperfections relevées lors de l'orientation entre les images sont toujours présentes.

A partir des cartes en annexe 10, on peut observer différents phénomènes. Les routes, où passent les lignes de coupe, sont souvent rétrécies ou supprimées, de même que les talus, fossés ou bords de champs. Les décalages n'affectent pas les parcelles dans ces cas, mais par exemple entre les parcelles AW 5 et 9 ou entre les numéros AW 2 et 6, ce sont les informations que fournit la parcelle qui sont directement touchées. De même, il faut absolument éviter qu'une ligne de coupe traverse une parcelle comme c'est le cas pour les parcelles réunies AW 79a, 79b, 80a, 80b et AW 76, 77 et 78, si l'on souhaite pouvoir traiter correctement l'information donnée par la photo.

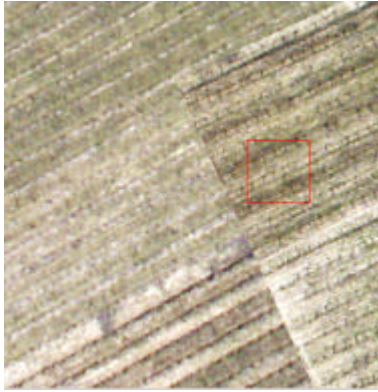


décalage estimé +4m

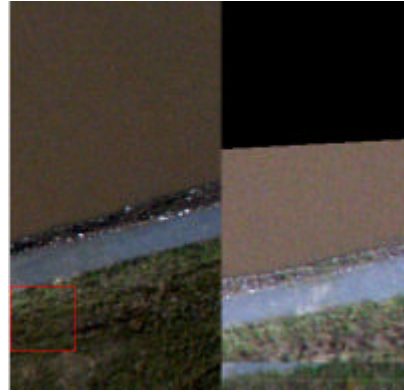


décalage estimé -8m

Il serait bon de quantifier plus précisément ces décalages.



Le raccord dans une parcelle est très délicat, pour les grandes parcelles la solution est de placer des cibles ou de les repérer et de ne pas les couper.



Décalage au niveau des bassins
Cet endroit est très plat, le relief n'est donc pas en cause, l'attitude lors de la prise des photographies est peut-être responsable des déformations observées.



Partie au dessus du carrefour



Image tirée de la triangulation, il manque des points d'amer sur la parcelle qui donnerait la direction des rangs de vigne. Sur ce zoom, on voit les déformations des rangs.

Il semblerait donc intéressant de quantifier les décalages des mosaïques résultats obtenues afin d'en savoir davantage.

Evaluation des décalages

Précision des mosaïques

Pour déterminer quelles seront les méthodes de déformation et d'assemblage les plus acceptables, outre l'examen visuel effectué lors de la partie précédente, nous allons quantifier les erreurs. Pour cela, un lever de points GPS complémentaires a été effectué sur le terrain.

Les points ont été choisis en respectant au mieux les règles suivantes. Un minimum de points par photo assemblée doit être présent, les points remarquables sur les images sont bien sûr privilégiés, ceci permet d'assurer une meilleure précision (pylônes électriques, passages busés, pieds de vigne déterminables dans une parcelle, croisées des chemins, etc.). Les points ont d'abord été pointés sur les images au bureau puis levés sur le terrain. Les images datent d'un chantier effectué fin mars, une fois sur le terrain on s'aperçoit que déjà des changements sont visibles. De nombreuses parcelles de vigne ont été arrachées, certains champs au contraire sont replantés en vigne, des points préalablement choisis sont donc inexistantes. Cependant et globalement, l'équilibre des points sur la mosaïque reste convenable.

Le modèle de GPS employé est un Leica qui reçoit sur une seule longueur d'onde, mais est corrigé en temps réel par le satellite géostationnaire Landsat. Son exactitude planimétrique est d'environ 1 mètre, l'exactitude altimétrique d'une dizaine de mètres. Les cartes en annexe 12 sur la précision des points levés sur le terrain mettent en évidence la qualité XY et Z des points levés. La qualité des coordonnées est définie ici, par l'intervalle contenant la position, cette valeur est calculée à l'aide des écarts types sur les coordonnées. La moyenne de la qualité XY vaut 0.3 m, l'écart type est de 0.04 m ; la moyenne de la qualité en altitude vaut 0.5 m, et l'écart type vaut 0.07 m (cf. annexe 19). On peut en conclure que la qualité des points est bonne et suffisante pour évaluer les décalages.

En annexe 11, les cartes obtenues par les différentes méthodes citées auparavant, mettent en évidence certains phénomènes explicités ci-dessous :

✓ Méthode d'orthorectification corrigée de la distorsion

Les plus forts décalages entre les points choisis sur l'image et ceux levés sur le terrain se situent sur la photo D4 et H17 au niveau des bassins de rétention. Le point 18 a un décalage de 30 mètres, le point 6 de 20 mètres. Le relief étant plat, cet écart résulte de la mauvaise disposition des points d'amer lors du géoréférencement. Les photos E3 et D2 semblent quant à elles bien calées, les écarts des points de ces images sont tous inférieurs à 5 mètres. Mais peut-on se satisfaire dans notre étude de la précision de calage de 5 mètres, étant donné que l'on veut qu'un rang de vigne soit bien placé? On voit également que la moyenne des écarts est forte 7.2 mètres, donc il n'y a pas une bonne homogénéité des décalages. Quelles sont les différences entre les couples d'images E3, D2 et D4, H17?

✓ Méthode d'orthorectification non corrigée de la distorsion

On ne remarque pas de réelle différence entre la mosaïque corrigée de la distorsion et celle non corrigée. La moyenne des écarts est la même, cependant l'écart type est plus fort dans la mosaïque non corrigée 2.3 mètres contre 1.2 dans l'autre.

✓ Méthode de triangulation

Cette mosaïque a des écarts beaucoup plus raisonnables, le maximum est le point 10 avec 10.8 mètres. Mais il faut noter que les points 6, 18 et 1 qui avaient des résidus forts dans les mosaïques précédentes sont absents. La moyenne a une valeur de 3.6 mètres, or on aurait pu s'attendre à mieux étant donné la bonne qualité visuelle de la mosaïque.

✓ Méthode image to image

Les résultats obtenus par cette méthode traduisent les plus grands écarts, les points 11 et 15 ont un écart de 42 mètres, le point 16 de 33m, le point 18 de 22m et le point 17 de 19m. La moyenne et l'écart type sont bien entendus les plus forts respectivement 11.5 mètres et 4.3 mètres. Par cette méthode, le recalage en final par la méthode image to map est impératif pour améliorer le géoréférencement, mais sera-t-il suffisant?

✓ Méthode image to map

Cette méthode obtient les meilleurs écarts après ceux de la triangulation. L'orthorectification qui prend en compte le relief a de plus grands écarts ! Le point 11 possède le plus grand décalage avec 10 mètres, la moyenne est de 4.4 mètres et l'écart type de 1.2 mètres.

Pour conclure, bien que les résultats obtenus par la méthode image to map aient de plus petits écarts que l'orthorectification, cette dernière permet un calage visuel des images plus acceptable, notamment pour les photos D2 et H17.

Etant donné que les mosaïques obtenues ne correspondent pas à notre attente, nous allons essayer de déterminer quelles peuvent être les autres sources des décalages. Nous contrôlons donc un certain nombre de paramètres qui entrent en jeu, la précision des points d'amer issus du cadastre, la précision du MNT du bassin de Roujan et les erreurs d'attitude.

En ce qui concerne les erreurs d'attitude, nous les avons négligées lors de notre première approche. Mais à présent, il serait bien de les estimer pour savoir si elles peuvent influencer sur l'assemblage des photos. Une erreur de manipulation et le manque de temps n'a pas permis de les estimer nous même. Mais Bruno ROUX, travaillant pour le CEMAGREF et possédant un Pixy©, les a estimées à +/- 5°. Il a procédé à cette estimation sur de nombreux clichés, en déterminant le nadir des images grâce à des pylônes électriques ou autres éléments similaires. D'autres méthodes existent pour déterminer ces angles de roulis, tangage et de lacet (cf. annexe 5).

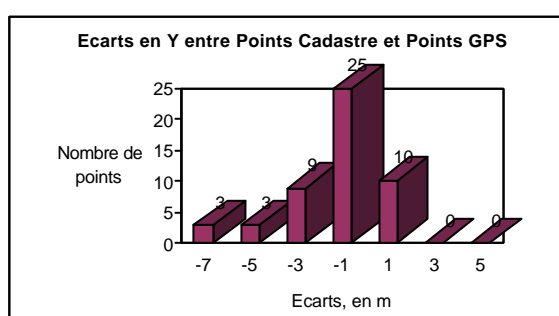
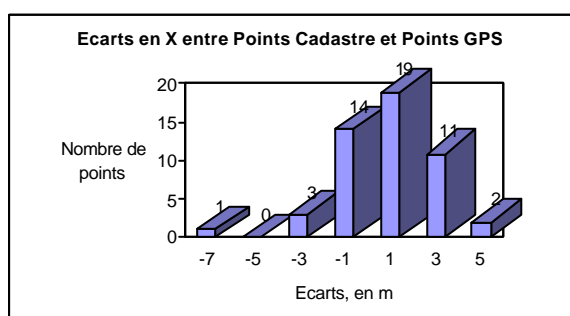
Précision du cadastre (Cf. annexe 13)

La carte résultant de l'estimation de la précision du cadastre, ne met pas en évidence d'erreurs systématiques telles qu'un biais. Les écarts obtenus sont tolérables, seuls certains points comme le 40, le 4 et 5, le 15, le 10 et le 8 présentent de forts résidus de 5 à 9 mètres.

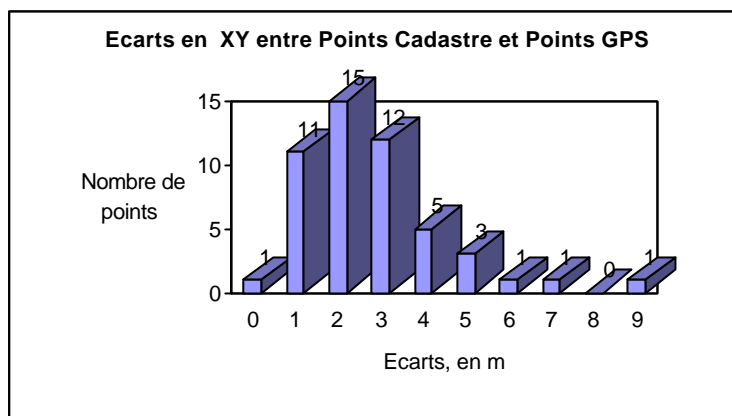
Ceci peut en partie s'expliquer pour le point 40 qui n'est pas très bien matérialisé (arrondi de carrefour). Pour les autres points, il s'agit peut-être d'erreurs dues à la non-connaissance des limites exactes. En effet, pour chaque limite de parcelles, on doit se poser la question de savoir à qui appartient le talus, le fossé ou la haie. J'ai pris les points en supposant que les règles générales foncières concernant la mitoyenneté s'appliquaient. Mais il peut y avoir des cas où, par exemple, le chemin qui, en général, est mitoyen peut être privatif et ainsi de suite. Une solution pour une estimation ultérieure serait de lever des points précisément positionnés sur le terrain et visibles sur les images sans aucune ambiguïté, comme des cibles !

La qualité médiocre des points du cadastre qui servent de points d'amers à l'image D4, peut alors expliquer le mauvais calage de cette image dans l'orthorectification.

Les histogrammes suivants exposent les écarts entre les coordonnées des points du cadastre et celles du GPS pour les abscisses, les ordonnées et la composante du vecteur XY.



En X la moyenne vaut 0.7 m, l'écart type 0.3 m, la moyenne des valeurs absolues 1.6 m.
 En Y la moyenne -1.6 m et l'écart type 0.4 m, la moyenne des valeurs absolues 1.9 m.

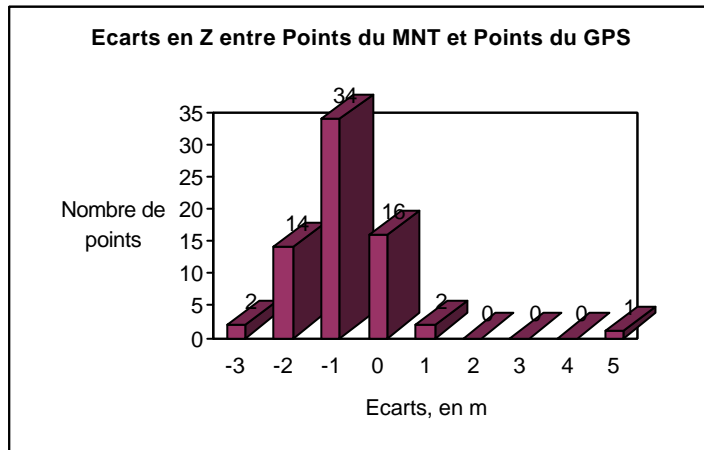


En XY, la moyenne vaut 2.8 m et l'écart type 0.5 m.

La moyenne des écarts en Y de -1.6 mètre est un peu forte, on pourrait conclure à un biais. La moyenne du vecteur XY de presque 3 mètres, demeure forte pour notre application, nous voudrions pouvoir placer un rang de vigne soit une précision de moins d'un mètre. La valeur des écarts obtenus par GPS correspondrait mieux à notre demande.

Précision du MNT (Cf. annexe 14)

Lorsque l'on observe la carte de la précision du MNT, on peut être surpris car les altitudes sont mieux connues que les abscisses et les ordonnées des points du cadastre. Ce lever confirme la bonne précision du MNT effectué par un géomètre il y a une dizaine d'années par photogrammétrie.



En Z, la moyenne vaut 0.8 m, l'écart type 0.2 m, la moyenne des valeurs absolues 1.1 m. Ces résultats sont convenables par rapport à la précision du GPS en Z. Le MNT n'est donc pas en cause dans les décalages obtenus.

Cependant, il serait intéressant d'améliorer le MNT avec des lignes caractéristiques qui marquent les fossés, les talus et les terrasses, étant donné que ces éléments sont nombreux et caractéristiques du milieu.

Conclusion sur le logiciel ENVI

Les méthodes de redressement *Image to Map* et *Image to Image* ne semblent pas convenir pour les images obtenues avec le paramoteur Pixy©. La hauteur de vol étant peu importante (150 à 250 mètres), le relief est un aspect qu'on ne peut négliger. Maintenant, il

serait bon d'effectuer un test sur la commande d'orthorectification des images argentiques d'Envi, pour savoir si cette fonction prend ou non en compte le relief.

En ce qui concerne les points d'amer et donc le cadastre, leurs précisions ne satisfont pas pleinement notre objectif. La solution réside dans le lever de points GPS qui serviraient de points d'amer. Mais pour cela il faudrait utiliser une méthode de géoréférencement qui ne nécessite pas beaucoup de points de liaison. Une méthode pourrait consister à mosaïquer d'abord les images entre elles par la fonction d'Envi "*Mosaicking Pixel Based*", puis à appliquer l'orthorectification sur l'ensemble des photos. Mais j'ai peur que la mosaïque donne également d'importants décalages, car la méthode de géoréférencement reste la même et étant donné que nos décalages sont importants, seul le changement de méthode et non un changement de calculs, me paraît suffisant.

Autres solutions de logiciels

Le logiciel Envi ne donnant pas de résultats satisfaisants, il peut s'agir de la fonction même de calcul, qui ne s'approprie pas à notre configuration. La méthode de l'aérotriangulation serait-elle la seule à donner des résultats convenables ? D'autres logiciels existent, je pense qu'il serait enrichissant de demander un CD de démonstration de ces logiciels afin de tester le géoréférencement et le mosaïquage des images du Pixy©.

Mojave

Un logiciel de traitement d'images Mojave 3.0 Air Photo découvert sur Internet, et édité par la société Cardio Logic, permettrait d'orthorectifier des images issues d'appareils numériques ou argentiques. Il s'agit d'un plug-in qui fonctionne avec Envi 3.5, la version 3.1 qui fonctionnerait avec Envi 3.6 est planifiée pour dans 60 jours au plus tôt. Téléchargeable sur Internet, il suffit de demander une clé temporaire à Envi France, mais cette version n'est disponible que depuis peu, et je n'ai pas eu le temps de la tester. J'ai quand même regardé le manuel d'utilisation, la méthode paraît semblable à celle que j'ai utilisée dans Envi.

1. Sélectionner une image pour qu'elle soit orthorectifiée
2. Réaliser l'orientation interne
3. Réaliser l'orientation externe
4. Définir le terrain à utiliser (MNT)
5. Sélectionner les préférences de l'orthorectification (projection, taille du pixel et de la scène, méthode de rééchantillonnage, nom de sortie)
6. Orthorectifier.

La méthode est exactement la même, ce qui prouve bien l'inefficacité de celle qui existe dans Envi, mais rien n'est dit sur les fonctions de calcul utilisées.

Prix 7500^E Orthorectification pour photographie aérienne

Taille des images	Temps d'Orthorectification
16K x 16K x 24 bit color	25 minutes
8K x 8K x 11 bit	4 minutes

ERMMapper

ERMMapper redresse des images à partir d'une carte d'une projection vers une autre. On peut aussi redresser une image non géoréférencée en définissant un nombre de points de liaison (GCP). Ce logiciel supporte les redressements polynomiaux, triangulaire, cubique, quadratique, linéaire et l'orthorectification de photographies aériennes.

Sept méthodes de géoréférencement sont disponibles:

- polynomiale ,
- triangulation ,
- reprojection map-to-map ,
- rotation ,
- enregistrements de points de liaison ,
- orthorectification (GCP-based) ,
- orthorectification (utilisant l'orientation externe) .

Il dispose également de fonctions pour traiter la radiométrie lors de mosaïques. Une fonction automatique de réglage des balances (couleurs) détecte et corrige les artéfacts colorés "hot spots", ajuste les variations de couleurs et déplace les valeurs de noir "black edges".

La fonction des balances travaille indépendamment à partir des images sources et ne crée pas de fichiers intermédiaires. Changer les options et connaître les résultats obtenus, s'effectue très rapidement.

Prix ER Mapper PC £3,995 / 5603^e / 36800F
 ER Mapper Educational 5-Pack PC £1,750 / 2454.25^e
 Honoraires de la maintenance annuelle (inclus support et mises à jour)
 Commercial ER Mapper Maintenance PC £650 / 911.52^e
 Educational ER Mapper Maintenance PC £450 / 631.05^e

Ce logiciel est en tout cas le plus transparent quant aux techniques qu'il utilise, il me semble plus complet que Mojave et moins cher. J'aurais une préférence pour tester ce logiciel en premier.

Erdas Image

Erdas dépend de Leica, et le site internet ne donne aucune explication détaillée sur ce qu'exécute ce produit. Un contact humain semble nécessaire, mais par expérience les produits Leica ne sont pas des plus abordables autant niveau prix que niveau utilisation.

<http://gis.leica-geosystems.com/downloads/brochures.asp>

Logiciel PoivilliersE.

Ce logiciel a été développé par Yves Egels qui entre autre, donne des cours à l'ESGT. Je crois que ce logiciel n'est pas réellement commercialisé. Mais il serait utilisable lors d'un stage d'un élève. Ce logiciel est un logiciel photogrammétrique, c'est à dire qu'il utilise l'aérotriangulation pour réaliser l'orientation interne, relative et absolue.

L'orientation interne consiste à prendre en compte la déformation de la chambre métrique de l'appareil photographique, c'est pour cela qu'il n'en existe pas pour les appareils numériques.

L'orientation relative permet de recréer la géométrie de perspective lors de la prise de vue.

L'orientation absolue met le modèle de prises de vue à l'échelle et effectue un basculement.

Poivilliers E n'effectue pas le mosaïquage, une série de logiciels existe pour cela dont le plus important est Topaéro. Ces logiciels sont développés par le laboratoire de recherche photogrammétrique de l'IGN MATIS.

CONCLUSIONS, PERSPECTIVES

L'objectif initial a été modifié, en effet au départ, nous voulions photographier différents chantiers, traiter la géométrie des images ainsi que réaliser une analyse temporelle. Mais les problèmes rencontrés n'ont pas permis d'accomplir cette dernière tâche et les traitements effectués sur les prises de vue se seront limités au chantier de Roujan.

Ce travail aura cependant permis de fixer les paramètres et les conditions de vol lors de l'acquisition des images, de déterminer les problèmes liés au suivi du Pixy© et d'en déduire les améliorations à développer. Le plus gênant lors de l'acquisition des images reste le vent. Pour éviter qu'il soit trop important, il est préférable de voler dans la matinée et les jours de beau temps. Or pour déterminer les états de surface ou l'évolution de la végétation, on privilégie un minimum d'ombre donc le midi. Il est alors nécessaire de réaliser un compromis.

Les traitements géométriques effectués sur les images ont été la mise en place de l'orthorectification et la correction de la distorsion, qui n'est pas négligeable avec un appareil photographique numérique, une focale courte et une matrice de capteurs importante. L'orthorectification est préférable au redressement géométrique, ce dernier ne tenant pas compte du relief. L'orthorectification met en place les images en effectuant l'orientation externe. Le modèle physique du procédé de prises de vue est pris en compte.

Les décalages rencontrés lors du mosaïquage des images, ont permis de préciser quels supports étaient fiables ou non. On s'est donc aperçu que le MNT de Roujan avait une bonne précision qui suffisait pour l'orthorectification, le cadastre quant à lui, possédait une précision médiocre pour l'utilisation de points d'amer. Un lever GPS de précision submétrique, des points du cadastre, de marques topographiques ou de cibles préalablement disposées sur le terrain, s'avèrent nécessaires pour obtenir une précision des points d'amer suffisante pour effectuer correctement le géoréférencement.

Lors de l'acquisition, il faut veiller à privilégier la prise de photographie de parcelles entières, ce qui revient à dire de prêter attention à la disposition sur les images des futurs points d'amer.

Le logiciel Envi® ne permet pas l'assemblage satisfaisant des images du Pixy©. Il semblerait intéressant d'exécuter des tests avec d'autres logiciels tels que ErMapper, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus.

Par la suite, il pourrait être envisagé la création d'une orthophoto. La création d'orthophotos peut être améliorée en utilisant par exemple un MNT possédant des lignes caractéristiques du relief représentant les talus, les terrasses et les fossés. La représentation du sursol peut être également une perspective dans le modèle numérique de terrain. Dans notre cas, elle résiderait principalement en la modélisation en 3D de la vigne.

RESUME

Le présent mémoire vise à mettre en place une chaîne d'acquisition de photographies aériennes numériques utilisant le porteur Pixy©, et de constituer avec ces images des mosaïques aptes à des travaux de recherche sur la reconnaissance automatique de paramètres d'intérêt agricole et hydrologique. Le mémoire s'articule en différentes étapes, je commence par préciser le contexte dans lequel ce travail a été réalisé et les objectifs fixés, puis je définis les moyens nécessaires à l'élaboration du chantier de prises de vue ainsi que leurs réglages. Ensuite, la chaîne d'acquisition des images numériques de très haute résolution est déterminée ainsi que la correction de la distorsion appliquée aux images. Après avoir obtenu les images, l'orientation et le mosaïquage sont effectuées ; enfin, la précision des mosaïques et des supports a été estimée et des solutions d'autres logiciels proposées.

L'UMR LISAH de l'INRA de Montpellier travaille sur la vigne dans le département de l'Hérault. Elle étudie sa croissance, ses maladies et les modes de culture à adopter. A partir des images aériennes, le laboratoire souhaite pouvoir avancer sur la recherche du dépérissement de la vigne, maladie mal connue, sur l'évolution de la végétation et sur l'état de surface du sol. Un premier travail avait permis d'obtenir des images issues d'hélicoptère ayant une résolution spatiale de 0.25m. Après étude du marché existant des porteurs et de leurs images, on adopte le paramoteur Pixy© développé par l'IRD, on souhaite profiter ainsi d'une meilleure résolution spatiale, d'une plus grande disponibilité et flexibilité à moindre coût. Nos objectifs sont d'effectuer une mosaïque d'images corrigée des déformations géométriques, on veut pouvoir discerner sur cet assemblage, les rangs de vigne, les modes de conduite voire les ceps.

Pour cela, il faut préparer le chantier. Le terrain des prises de vue se situe sur le bassin de Roujan, sous-bassin de celui de la Payne, affluent de l'Hérault. Le relief est caractérisé par de nombreux fossés, terrassettes et talus. Pour réaliser les photographies du bassin, il est nécessaire d'être en possession d'un minimum de supports cartographiques. Un Scan 25® de l'IGN est utile pour le repérage sur les lieux et peut être utilisé en tant que fond de plan sur l'ordinateur. La BD Topo™ et le cadastre nous donnent la possibilité d'extraire des points d'amer pour l'orientation future des images. Deux MNT sont à notre disposition pour l'orthorectification des images.

Puis, prenons connaissance du matériel utilisé. Le Pixy© est un paramoteur qui se compose d'une voile très utile pour que l'atterrissage assure la sécurité du matériel embarqué, il est radiocommandé et se pilote facilement, son altitude de vol varie entre 150 et 250 mètres, sa vitesse vaut 25 km/h, il est facilement transportable dans l'arrière d'une voiture. La principale contrainte réside dans le fait qu'il ne peut voler avec un vent de plus de sa vitesse.

Sur ce porteur est installé un GPS Garmin de navigation afin qu'un retour de positionnement soit assuré. Sa précision est de l'ordre de 5 mètres en planimétrie et d'une dizaine de mètres en altimétrie. Nous disposons également d'un GPS de positionnement Leica de précision submétrique, il nous servira à lever ou implanter les points d'amer au sol lors du géoréférencement.

Le capteur est un appareil numérique Minolta Dimage 7Hi de 5 millions de pixels, le numérique présente divers avantages face à l'argentique, notamment on évite l'étape du développement de la pellicule et l'étape du scannage. Le signal numérique permet également un meilleur post-traitement. Nous avons choisi la plus grande résolution 2560x1920 et la meilleure

qualité, une sensibilité de 200 ASA et un programme qui donne la priorité à la vitesse étant donné que l'appareil est en perpétuel mouvement.

Ensuite, il faut préparer le processus d'acquisition des images. Étant donné l'altitude de vol, la scène d'une image couvre environ 200x160mètres, la résolution spatiale au sol vaut en moyenne 0.10m. Le recouvrement entre photographies doit être au moins de 50% pour pouvoir assembler correctement les images. Un retour image permet de contrôler la scène de la photo prise, ce contrôle permettra de s'assurer que suffisamment de points d'amer apparaissent sur le cliché. Les erreurs d'attitude sont négligées, lors du pilotage, on essaiera de suivre une ligne de vol pour minimiser le nombre de clichés. Mais suivant la variabilité du vent, il n'est pas évident de suivre une direction donnée.

Un logiciel de suivi comme Tracking Analyst® a toute son utilité pour suivre l'évolution du paramoteur. Ce logiciel permet d'avoir une position du Pixy© toutes les 2 secondes, à partir de ce tracé, des options de légende permettent par exemple de savoir à quelle altitude vole le drone. Or des problèmes de transmission de signal radio sont survenus entre l'émetteur embarqué et le récepteur au sol. Après divers essais, il semblerait que ce soient les vibrations du moteur qui interfèrent le signal, ce qui causent des retards du tracé, normalement reçu en temps réel et des sauts, c'est à dire que les points ne sont pas tracés toutes les 2 secondes.

Pour obtenir un premier tableau d'assemblage, un script généré dans Arcview™ permet d'obtenir les emprises de photos prises en vol en pressant un bouton au moment de la prise de vue. Cette fonction a été testée lors d'un tracé à bord d'un véhicule, aucun problème n'est survenu, mais elle n'a pas pu être testée avec le paramoteur vu les problèmes précédents.

Une fois les images récupérées, il est indispensable d'en corriger la distorsion due à l'appareil numérique. En effet en numérique d'après les expériences connues, la distorsion optique n'est pas négligeable. Pour connaître cette correction, il faut étalonner l'appareil à une focale donnée. On détermine alors le centre de la distorsion, la valeur exacte de la focale et les coefficients du polynôme de distorsion radiale de degré 7. Le logiciel "Distorsion" développé par le laboratoire photogrammétrique MATIS de l'IGN, permet de corriger les images de cette aberration due aux lentilles sphériques d'une valeur maximale de 4 mètres pour une focale de 32mm.

Outre les problèmes de suivi, des améliorations seraient intéressantes en ce qui concerne les batteries du porteur. La mise en charge des batteries est un lourd travail, une solution simplifiée permettrait une utilisation plus aisée.

Enfin, l'orientation et le mosaïquage des images s'effectuent. Tout d'abord, on s'est aperçu que le redressement qui consiste à appliquer des déformations planimétriques à partir des points d'amer, ne donnait pas un résultat satisfaisant. Des décalages de 3 à 4 mètres par rapport au cadastre étaient mis en évidence. On remarque que les points d'amer n'ont pas forcément une très bonne définition. Un point définit une limite de parcelles, or le cadastre ne précise pas si la limite est en bas ou en haut talus, par exemple ; on a donc appliqué les règles générales de la mitoyenneté qui ne sont pas forcément exactes dans tous les cas.

La méthode de l'orthorectification semble plus juste puisqu'elle tient compte du relief. On effectue donc une orientation interne fictive puisque le logiciel Envi™ n'orthorectifie que les images argentiques, puis l'orientation externe. Ensuite, on procède au mosaïquage, il est effectué au fur et à mesure, des décalages importants là aussi sont visibles. On décide donc de les quantifier après les avoir qualifiés visuellement.

La quantification se fait à partir de levés GPS de précision submétrique. On s'aperçoit alors que les décalages les moins importants sont remarqués avec la méthode de triangulation et celle du redressement "Image to Map", mais l'orthorectification présente un calage visuel plus

favorable. La précision du cadastre et donc des points d'amer ne se révèle pas suffisante par rapport à l'objectif fixé qui était d'obtenir une précision submétrique. Le MNT quant à lui, ne fait pas défaut.

Par contre, le doute plane sur la méthode utilisée pour l'orthorectification par le logiciel Envi™, puisqu'un plug-in Mojave™ développé par Cardio Logic, existe pour effectuer l'orthorectification et est commercialisé par Envi™. Il serait donc intéressant de tester d'autres logiciels tels que ErMapper, pour vérifier si ces décalages sont dus à la méthode d'orthorectification d'Envi™, qui ne semble pas adapté aux images numériques de très haute résolution ou aux images obtenues.

Par la suite, après avoir résolu ces problèmes, il serait intéressant de pouvoir effectuer une analyse temporelle des images mosaiquées et pourquoi pas de modéliser le sursol, dans notre cas principalement de la vigne et d'en extraire une exploitation en 3 dimensions.

BIBLIOGRAPHIE

Sites internet

Agriculture

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/>
<http://sol.ensam.inra.fr/lisah/Internet.asp>

Drône

<http://www.geosys.fr>
<http://www.drone-Pixy.com/>

Photographie

<http://www.voilelec.com/pages/ccd.php>
http://laphotonumerique.free.fr/precision_techn1.htm
<http://megapixel.net>
<http://www.ifrance.com/philippecoubris/optique/photographie1.htm>
<http://jb.henry.free.fr/stage/partie1.html>
<http://perso.club-internet.fr/fabien.boiteux/photographie/photosite/sciedive5.html>

Photogrammétrie et Télédétection

http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter2/chapter2_10_f.html
<http://www.esgt.cnam.fr>
<http://www.ensg.ign.fr>
<http://www.ign.fr/>
<http://www.cardiofx.com/>
<http://www.ermapper.com/>
<http://www.gisdevelopment.net>
<http://arcscripts.esri.com/>

Rapports et thèses

- Anne Line PADOVAN "Création d'orthophotoplans issus de photographies aériennes à haute résolution : définition et amélioration de la chaîne de production" Travail de Fin d'Etudes (TFE) ESGT 2000 n°2057
- Tom WASSENAAR "Reconnaissance des états de surface du sol en milieu viticole méditerranéen par télédétection à très haute résolution spatiale" Thèse ENSA.M UMR LISAH Montpellier 2001
- Sylvain GLANDIER "De la planification de prises de vue aériennes numériques à la construction du tableau d'assemblage" Travail de Fin d'Etudes (TFE) ESGT 2001 n°224
- Jérôme HAXAIRE " Mise en place d'un système léger d'observations topographiques par procédé photogramétrique" Travail de Fin d'Etudes (TFE) ESGT 2000 n°2037
- Julien DURBAN "Influence du MNT et de l'altimétrie sur une orthophoto" Travail de Fin d'Etudes (TFE) ESGT 1997 n°9719

Ouvrages

- Sous la direction de Michel KASSER et Yves EGELS "Photogrammétrie numérique"
Edition Hermès Lavoisier 2001
- Michel-Claude et Colette M. GIRARD "Traitement des données de télédétection"
Edition Dunod 1999

ANNEXES

ANNEXES

- (1) Fiche technique : caractéristiques du Pixy©
- (2) Fiche technique : caractéristiques du GPS Garmin Map 76
- (3) Fiche technique : décodage des phrases GGA dans une trame NMEA
- (4) Fiche technique : utilisation de Tracking Analyst™
- (5) Fiche technique : estimation des erreurs d'attitude
- (6) Planning des tâches effectuées

(7) Carte de situation

(8) Repérage des numéros de parcelles

(9) Repérage des photos constituant la mosaïque

(10) Mosaïque de six photos

- ✓ par la méthode *image to map*,
- ✓ par la méthode *image to image*,
- ✓ par la méthode de triangulation,
- ✓ par orthorectification non corrigée de la distorsion,
- ✓ par orthorectification corrigée de la distorsion.

(11) Précision de la mosaïque

- ✓ obtenue par la méthode *image to map*,
- ✓ obtenue par la méthode *image to image*,
- ✓ obtenue par triangulation,
- ✓ obtenue par orthorectification non corrigée de la distorsion,
- ✓ obtenue par orthorectification corrigée de la distorsion.

(12) Précision des points levés sur le terrain

- ✓ qualité XY donnée par le GPS,
- ✓ qualité Z donnée par le GPS.

(13) Précision du Cadastre

(14) Précision du MNT

(15) Récapitulatif des valeurs de l'étalonnage

(16) Etalonnage de la focale 28 mm (7.21 mm)

(17) Etalonnage de la focale 31 mm (8.19 mm)

(18) Etalonnage de la focale 32 mm (8.34 mm)

(19) Histogrammes des écarts des mosaïques

(20), (21) Résultats du redressement

(22) Paramètres de l'orthorectification : le fichier *.ort*

(23) Résultats de l'orthorectification