

CONTINUITÉ ET AMÉLIORATION DE LA FILIÈRE SPOT AU DELÀ DE L'AN 2000: SPOT 5-6

Par **A. BAUDOIN** - CNES 2 place M. Quentin - 75039 PARIS

Cl. FRATTER, C. LATRY, M. PAUSADER - CNES 18 avenue E. Belin - 31055 TOULOUSE Cedex

Ph. MUNIER - SPOT IMAGE 5 rue des Satellites - BP 4359 F 31030 TOULOUSE Cedex

RÉSUMÉ

Après SPOT 1, 2 et 3 qui sont en orbite, SPOT 4 en cours de construction, SPOT 5 et SPOT 6 sont étudiés pour fournir, entre 2000 et 2010, des données et produits spatiaux adaptés aux besoins des utilisateurs d'informations géographiques.

L'expérience acquise avec SPOT 1 et SPOT 2 a montré l'importance de la continuité des données, pour que les utilisateurs développent des méthodes opérationnelles. Il faut donc que SPOT 5 et SPOT 6 fournissent les types de produits (en terme de fauchée: 60 km et de bandes spectrales: vert, rouge, proche infrarouge) avec si possible des qualités améliorées (plus particulièrement en terme de résolution spatiale et de stéréoscopie).

Cette communication présente les études techniques et économiques, menées par le CNES et SPOT IMAGE en liaison étroite avec les utilisateurs, qui ont permis de préciser les spécifications de mission de ce système futur.

ABSTRACT

After SPOT 1, 2 and 3 which are already on orbit, after SPOT 4 presently under construction, SPOT 5 and SPOT 6 are studied in order to provide, between 2000 and 2010, the data and products needed by the users of geographical information.

The experience acquired with SPOT 1 and SPOT 2 has shown that the continuity of data is very important, especially for the development of operational methods by/for the users. Thus SPOT 5 and SPOT 6 should provide the same types of products (as far as the swath width: 60 km, and the spectral bands: green, red and infrared, are concerned), if possible with improved characteristics (especially for spatial resolution and stereoscopy). This paper presents technical and economical studies undertaken by CNES and SPOT IMAGE in close connection with the users, leading to the mission requirements of this future system.

INTRODUCTION: CONTEXTE

La France a développé, avec l'aide de la Suède et de la Belgique, le programme SPOT pour encourager les nombreux utilisateurs d'informations géographiques à utiliser des données spatiales. Les lancements successifs de SPOT 1, le 22 février 1986, SPOT 2, le 21 janvier 1990 puis de SPOT 3 le 25 septembre 1993 ont assurés aux utilisateurs une fourniture régulière et sans interruption des données. Cette continuité d'acquisition des informations est l'un des atouts principaux du système SPOT, outre la qualité de ses images. (Cf BAU 92)

SPOT 3 est devenu, après sa période de recette en vol qui s'est achevée le 25 novembre 1993, le satellite SPOT opérationnel. SPOT 2 sera éventuellement utilisé pour augmenter la capacité de production du système, en cas de demande suffisante du marché, et SPOT 1 reste disponible pour certaines expérimentations à caractère technologique.

Rappelons que SPOT 2 et SPOT 3 sont pratiquement identiques à SPOT 1, avec en plus le système d'orbitographie et de localisation précise DORIS. SPOT 4 est actuellement en construction chez MATRA

MARCONI SPACE (MMS), qui a déjà réalisé les modèles précédents, afin que celui-ci soit prêt dès mi 1995 afin de minimiser les risques d'interruption de l'acquisition des données, en cas de l'indisponibilité des satellites précédents. Le lancement de SPOT est nominale prévu pour 1997. (Cf Fig.1)

SPOT 4 est une version améliorée des SPOT 1-2-3, avec l'adjonction d'une nouvelle bande spectrale, dans le moyen infrarouge (1,58-1,74 μm), et une meilleure registration à bord de la bande panchromatique (à 10 m de résolution) et des bandes de la voie multispectrale (à 20 m de résolution). De plus la durée d'enregistrement en vol passera de 22 minutes à 40 minutes et la durée de vie nominale du satellite sera portée à 5 ans, au lieu de 3 ans pour les satellites précédents. (Cf ARN 91 et Fig. 2)

Pour assurer la poursuite de la filière SPOT, après SPOT 4, le CNES a étudié un nouvel instrument, HRG (Haute Résolution Géométrique) dès 1989. Cet instrument était conçu pour fournir des images avec une meilleure résolution, de l'ordre de 5m, et une stéréoscopie le long de la trace, plus opérationnelle que la stéréoscopie latérale précédente. (Cf FRA 91)

A partir de ce concept différentes configurations instrumentales (de 2 à 4 instruments) ont été étudiées,

et en parallèle des études mission ont été conduites avec les utilisateurs pour préciser les besoins et les caractéristiques générales du système nécessaires pour les satisfaire. Un groupe de travail dit HRO («Haute Résolution Optique») a été constitué, d'une vingtaine d'organismes français utilisateurs potentiels de SPOT 5, pour aider le CNES et ses partenaires à préciser certains besoins et exigences techniques. Ces précisions ont été obtenues en analysant notamment des simulations d'images, aussi représentatives que possible des images spatiales envisagées.

Le résultat de ces études est synthétisé dans le

document de spécification de la mission de SPOT 5-6, qui va être présenté dans la suite de cet exposé.

Le dossier de programme SPOT 5-6 est en cours de préparation, pour que le gouvernement français, et ses partenaires belge et suédois puissent autoriser, en 1994, le financement de la réalisation des satellites et des infrastructures sol associées. SPOT 5 devrait être prêt fin 1999, pour un lancement envisagé en 2000, et SPOT 6 (supposé identique à SPOT 5) devrait être prêt en 2002, pour un lancement vers 2005-2006, afin d'assurer la continuité de fourniture des données entre 2000 et 2012.

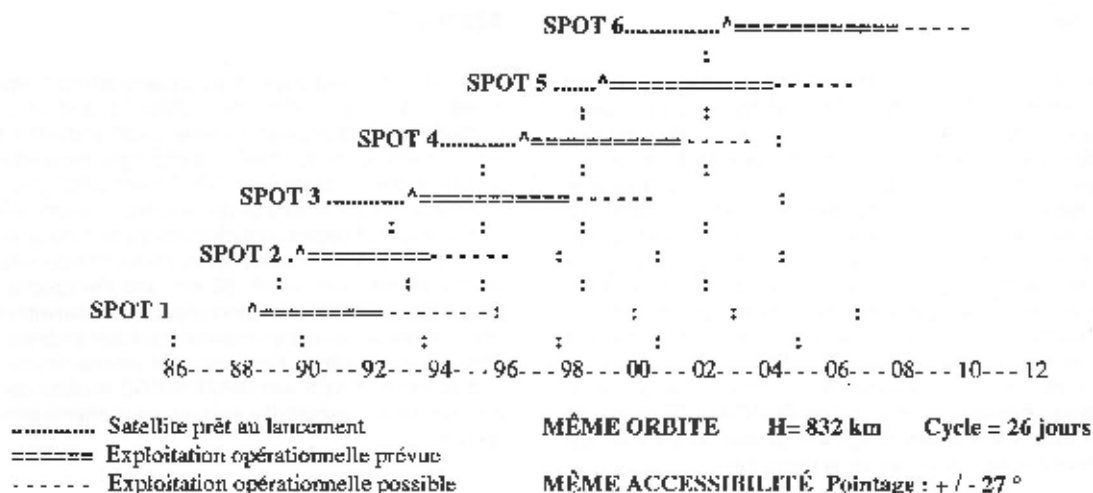


Figure 1: La filière SPOT de SPOT 1 à SPOT 6

	SPOT 1-2-3	SPOT 4	SPOT 5-6
Bandes spectrales	B1-B2-B3 à 20 m	B1-B2-B3- MIR à 20 m	MIR à 20 m B1-B2-B3 à 10 m
Résolutions	Pan à 10 m	B2 à 10 m	Pan à 5 m (AC)
Durée enregistrée	22 min	40 min	> 40 min (AC)
Débit de transmission	50 Mbit/s	50 Mbit/s	100 Mbit/s (AC)
Durée de vie	3 ans	5 ans	5-7 ans

Figure 2: Améliorations de la filière SPOT

◆ MÉTHODOLOGIE

Pour préparer les spécifications de la mission SPOT 5-6 une démarche itérative, utilisant des informations

techniques, économiques et prenant en compte des contraintes réglementaires et politiques, a été adoptée. Celle-ci est précisée par le schéma suivant:

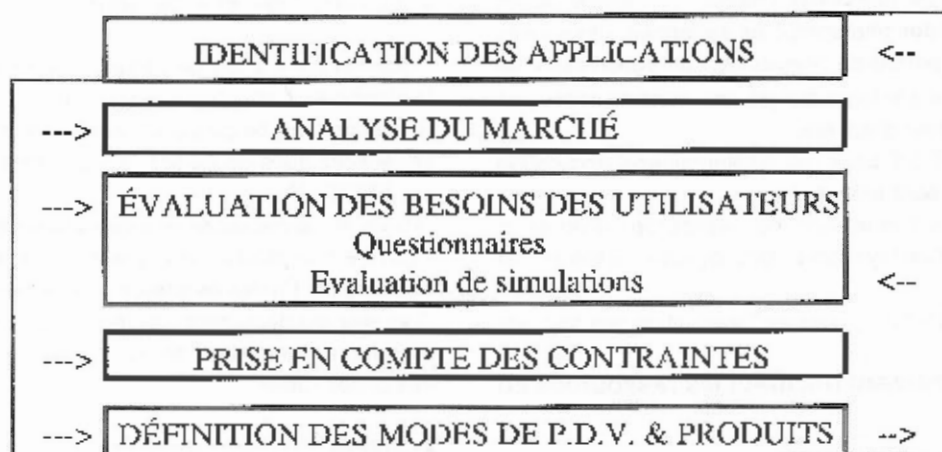


Figure 3 : Méthodologie de réalisation de la Spécification de mission

◆ LES APPLICATIONS ENVISAGÉES

A partir de la connaissance des utilisateurs actuels des images SPOT une liste des domaines d'applications a été établie. Elle contient les applications qui pourraient être satisfaites par la mission future proposée. Sept domaines principaux d'application ont été identifiés, subdivisés en thèmes plus détaillés pour lesquels une analyse des besoins et du marché a été réalisée.

■ Cartographie

Les utilisations de SPOT pour la cartographie sont déjà nombreuses. Avec une meilleure résolution les échelles des produits cartographiques pourront être plus grandes. SPOT est actuellement adapté au 1:100.000, et dans certains cas au 1:50.000. Avec SPOT 5-6 l'échelle du 1:50.000 devrait être plus utilisée et dans certains cas le 1:25.000 pourrait être envisagé.

Les applications cartographiques concernent à la fois la cartographie topographique (levé de base, réfection, révision), l'établissement des bases de données (ex: BD Carto en France), la production de spatio-cartes et la génération de Modèles Numériques de Terrain (MNT). Cette dernière application bénéficiera grandement de la meilleure qualité stéréoscopique prévue sur SPOT 5-6.

■ Vérification

Les besoins d'utiliser les images spatiales pour vérifier l'application des traités, notamment ceux sur le désarmement, se sont confirmés ces dernières années et devraient s'amplifier dans l'avenir. Deux niveaux

d'exigences sont à prévoir, avec des produits différents pour répondre aux besoins différents qui existent d'une part en période de crise, d'autre part en phase de routine.

De plus, au delà des besoins de vérification, certains besoins de surveillance stratégique et de reconnaissance militaire pourraient être mieux pris en compte, notamment grâce à la meilleure résolution de SPOT 5.

■ Agriculture et Forêts

Les utilisations de SPOT pour l'agriculture et les forêts sont très variées. L'implémentation d'une bande MIR (Moyen infrarouge) sur SPOT 4 permettra d'améliorer la discrimination des végétaux et d'avoir des indications plus précises sur leur état phytosanitaire. Avec une meilleure résolution SPOT 5 devrait permettre d'avoir une meilleure connaissance spatiale (sur les limites de parcelles) et thématique de l'occupation du sol (surtout dans les régions à petit parcellaire)

Les applications envisagées comprennent:

- Les statistiques agricoles (Évaluation des surfaces, Inventaires, Prévision des récoltes)
- La cartographie de l'utilisation du sol (Utilisation du sol, Potentialité des terres, Paysages, Écologie)
- La cartographie agricole (Suivi des cultures, Surveillance phytosanitaire, Déprise des terres agricoles, Irrigation, Cartographie des plans d'eau, Localisation de sites d'aquaculture)
- La cartographie forestière (Inventaires, Évaluation des surfaces boisées, Cartographie des essences, Évaluation des ressources en bois, Suivi des zones endommagées)
- Le contrôle des cultures illicites (drogues), l'évaluation des dommages pour indemnisation, la taxation foncière.

I Géologie

Les géologues ont toujours été curieux de l'intérêt des diverses sources de données de télédétection (A l'origine le programme Landsat a été défini par des géologues), et SPOT n'a pas failli à la règle: Il a été utilisé dans de nombreux projets, à la place ou en complément des photographies aériennes. Les succès obtenus ont permis de développer l'utilisation des images SPOT en géologie malgré une certaine recession dans ce secteur d'activité.

Avec SPOT 5-6 deux grands domaines d'application géologiques sont envisagés:

L'exploration et le suivi des ressources (Pétrole et minéraux, Cartographie géologique, Érosion et hydrologie)

La géotechnique (y compris l'évaluation des risques)

II Environnement (incluant les ressources en eau)

Le secteur de l'environnement s'est considérablement développé ces dernières années et devrait prendre de plus en plus d'importance dans l'avenir. Les observations spatiales contribuent au développement de ce secteur en apportant une connaissance globale des phénomènes planétaires grâce à leur couverture et leur répétitivité. SPOT, pour sa part, apporte une finesse d'observation qui permet des études locales plus précises qu'avec d'autres satellites. Les améliorations prévues sur SPOT 5 devront rendre encore plus intéressantes l'utilisation des images spatiales à ce niveau local.

Les applications qui pourront bénéficier de ces images sont les suivantes:

- Études et suivis régionaux (Inventaires régionaux, Suivi des zones côtières, Désertification, Suivi des neiges et glaces, Captages, Plans d'eau, Études côtières et marines)
- Études d'impact (Détection des changements, Zones humides et humidité des sols, Évaluation des impacts)
- Évaluation de dégâts (Pollution par hydrocarbure, Suivi de zones sinistrées, Pollution)

III Urbanisme, Planification urbaine

Le domaine de l'urbanisme est, par la taille des objets étudiés, plus habitué aux photographies aériennes et aux enquêtes sur le terrain, qu'aux images spatiales. Cependant l'utilisation de SPOT s'est avérée intéressante pour des études couvrant de larges zones, pour préparer des travaux terrains ou pour suivre l'évolution des villes et banlieues et de leur interface avec la campagne. Avec une meilleure résolution SPOT 5 permettra d'améliorer les applications existantes et surtout d'atteindre de nouveaux marchés.

Les domaines concernés peuvent être:

Soit les recensements de population, soit les études de développement urbain (Étude et suivi de la morphologie urbaine, Planification du développement urbain, Transports et communications, Développement industriel)

II Planification et ingénierie

Comme dans le cas de l'urbanisme les applications à la planification et à l'ingénierie sont très sensibles à la résolution mais de plus elles nécessitent des données stéréoscopiques de qualité, qui pourront être fournies par SPOT 5-6.

Parmi les applications envisageables citons:

- Les travaux publics et la planification (Classification des terrains, Études de sites, Plans de développement)
- Les réseaux de transport et de communication (Études d'itinéraire, Simulation de vol, Études de propagation des ondes radio)

III Divers

Outre celles qui appartiennent aux 7 domaines précédents d'autres applications, encore inconnues aujourd'hui, ou marginales pourront exister (ex: Documents pour les médias ou pour le grand public). Ce type d'applications n'a été pris en compte que pour évaluer le marché et non pour spécifier le système.

◆ ÉTUDES DE MARCHÉ

Plusieurs études de marché ont été réalisées, entre 1991 et 1992, pour estimer l'importance relative des diverses applications envisagées puis pour essayer de prévoir le nombre de produits demandés lorsque le système sera opérationnel (2000-2010).

Ces études ont pris en compte l'expérience acquise par SPOT IMAGE pendant 7 ans d'exploitation commerciale de SPOT, et des modèles simples ont été utilisés pour extrapoler le marché actuel à l'aide des informations obtenues par ces études de marché, avec certaines hypothèses sur les prix des produits et sur la concurrence.

Ces modèles ont été affinés au fur et à mesure que les spécifications du système ont été précisées.

Les résultats de ces études montrent que les domaines d'applications envisagés (selon les définitions indiquées plus haut) se répartissent en trois groupes:

- Les domaines très importants (environ 20 % du marché pour chacun d'eux):

La Cartographie, la Vérification et l'Agriculture-Forêts

- Les domaines importants (de l'ordre de 10% chacun):

La Géologie, la Planification-Ingénierie et l'Environnement

- Les domaines moins importants (moins de 5%):

L'Urbanisme

◆ CHOIX DES PARAMÈTRES CLÉ

Les caractéristiques principales d'un système spatial d'observation de la Terre, tel que SPOT, doivent être précisées d'une façon compréhensible d'une part par les utilisateurs, qui connaissent les caractéristiques des objets ou phénomènes qu'ils veulent étudier, et d'autre part par les ingénieurs concepteurs du système et de ses composantes, qui connaissent les caractéristiques des mesures qui peuvent être effectuées.

Entre ces deux niveaux, en aval et en amont du système, il faut définir des paramètres qui décrivent le système de prise de vues de façon que les utilisateurs puissent juger de l'influence des valeurs de ces paramètres sur leur application et que les ingénieurs puissent évaluer la difficulté d'atteindre les valeurs demandées. Un compromis est toujours indispensable entre une demande, qui peut être déraisonnable, et une offre nécessairement bridée par des contraintes techniques, budgétaires ou calendaires.

Les paramètres principaux (paramètres clé) ont été identifiés par le groupe HRO, et certaines valeurs envisageables de ces paramètres ont été proposées pour être ensuite évaluées à l'aide de simulations. Ces valeurs envisageables ont été définies en tenant compte des possibilités techniques et des coûts (afin de pouvoir réutiliser au mieux les développements déjà réalisés pour SPOT 4) ainsi que des contraintes liées à la politique de diffusion des données (libre pour des résolutions supérieures à 10m, pouvant être soumise à certaines restrictions pour des résolutions comprises entre 5 et 10 m, non autorisée actuellement pour des résolutions inférieures à 5m)

Ces paramètres et les valeurs évaluées sont indiqués ci dessous:

RÉSOLUTION SPATIALE: Trois niveaux de résolution ont été étudiés: 5, 10 et 20 m (les deux dernières étant celles des instruments actuels de SPOT)

BANDES SPECTRALES: Les bandes de SPOT 4 (B1 verte: 0,5-0,6 μm , B2 rouge: 0,6-0,7 μm , B3 proche infrarouge: 0,8-0,9 μm et MIR moyen infrarouge: 1,5-1,7 μm) ainsi que deux bandes plus larges: PAN panchromatique (0,5-0,75 μm) et PIR proche infrarouge (0,7-0,9 μm) ont été envisagées, pour être utilisées seules ou combinées. La présence d'une bande bleue (B0: 0,4-0,5 μm) a également été étudiée.

Il a été jugé indispensable d'étudier conjointement différentes combinaisons de bandes spectrales avec leurs résolutions associées.

GÉOMÉTRIE DES VISÉES: Images monoscopiques ou stéréoscopiques (La stéréoscopie étant caractérisée par le rapport B/H ainsi que la symétrie ou non des visées).

L'intérêt des visées nadirales par rapport à des visées d'angle quelconque a été également analysé.

COUVERTURE DE LA PRISE DE VUES: Trois valeurs de la fauchée ont été testées: 15 Km, 50 Km et > 100 Km, correspondant grossièrement aux fauchées des photographies aériennes à très petite échelle, à celle d'un instrument de SPOT (HRV) et à celle de 2 HRV en mode solidaire.

QUALITÉ RADIOMETRIQUE: C'est certainement la qualité la plus difficile à préciser. Pour un utilisateur cette notion est très subjective, surtout en ce qui concerne l'interprétabilité d'une image qui suppose par ailleurs de nombreuses connaissances externes à celle-ci. (Expérience de l'interprète, informations complémentaires sur la zone étudiée).

Les paramètres étudiés sont donc nécessairement ceux que savent évaluer les ingénieurs: Rapport Signal/Bruit et Fonction de Transfert de Modulation (FTM)

PRÉCISION PLANIMÉTRIQUE: Trois niveaux de précision ont été étudiés: mieux que 25 m, de 25 à 50 m, et plus grande que 50 m (Ces chiffres prennent en compte l'utilisation éventuelle de points d'appui et d'un MNT)

PRÉCISION DE LOCALISATION ABSOLUE: Celle-ci exprime la précision planimétrique obtenue sans aucun point d'appui, indépendamment des effets éventuels du relief.

PRÉCISION ALTIMÉTRIQUE: Trois niveaux de précision ont été étudiés: mieux que 5 m, de 5 à 10 m, et plus grande que 10 m.

DÉLAI D'ACQUISITION: Trois domaines de valeurs ont été évalués: ≥ 2 mois, 2 à 8 semaines, 3 à 15 jours

DÉLAI DE TRAITEMENT: Trois domaines de valeurs ont été évalués: ≥ 2 semaines, ≈ 1 semaine, 1 à 3 jours

◆ ANALYSE DES BESOINS DES UTILISATEURS

Pour chacun des grands domaines d'application identifiés plus haut une analyse des besoins a été effectuée par le groupe Haute Résolution Optique.

Différentes valeurs des paramètres clé ont été comparées, et notées entre 0: sans intérêt, et 5: pleinement satisfaisant. Les membres du groupe HRO se sont appuyés pour cela soit sur leur expérience relative aux capteurs existants (Photographies aériennes à diverses échelles, images SPOT à 10m ou à 20m, images Landsat etc), soit sur des simulations réalistes des données SPOT 5-6 à tester, qui ont fait l'objet d'expérimentations spécifiques.

■ Les simulations

Ces simulations ont été réalisées selon deux filières: Pour celles qui demandent une très bonne géométrie des photographies aériennes (Panchromatique, Infrarouge Noir et Blanc ou Infrarouge Couleur: IRC) ont été

utilisées. Celles-ci ont été numérisées, avec un pas de 1,6m, corrigées et remises en géométrie SPOT.

Pour celles qui nécessitent une bonne radiométrie un capteur «Push Broom», du même type que celui de SPOT, avec les mêmes bandes spectrales, a été employé. L'altitude de l'avion est choisie de façon que la résolution au sol soit d'environ 1,6m. La chaîne d'acquisition «Push Broom» a été récemment améliorée pour obtenir une bonne géométrie, ce qui permet de réaliser une radiométrie et une géométrie précises des données à simuler.

Lorsque les données sont acquises elles sont ensuite corrigées à la fois radiométriquement et géométriquement, en tenant compte principalement des mesures de position (avec GPS) et d'attitude (avec des Gyroscopes), et si nécessaire de points d'appui et d'un MNT.

Après correction les simulations sont générées en introduisant les filtres numériques adéquats représentant les bruits et FTM à simuler, et l'image finale est échantillonnée à 5 m de résolution. Dans l'avenir une simulation réaliste de la géométrie de SPOT 5-6 pourrait être simulée en utilisant un MNT (pour recalculer les parallaxes en fonction des directions de visée et du relief)

Ces simulations ont été évaluées, comparées entre elles ainsi qu'à la référence à 1,6m, par plusieurs organismes utilisateurs, ce qui a permis de préciser les besoins en fonction des différents domaines d'application étudiés.

■ Le marché des applications

Pour obtenir une synthèse des besoins les résultats obtenus pour chacun des domaines d'application ont été pondérés par leur poids économique, évalué à la suite de plusieurs études de marché. (Voir par exemple BRA 87 pour le marché de la cartographie)

Bien qu'il soit très difficile de prévoir le marché dans 10 à 20 ans certaines hypothèses ont pu être faites:

La Cartographie, la Vérification et l'Agriculture-Forêts pourraient représenter chacun environ 20 % du marché.

La Géologie, la Planification-Ingénierie et l'Environnement pourraient représenter chacun de l'ordre de 10 % du marché, alors que l'Urbanisme n'occuperait qu'environ 5 %.

■ Besoin en bandes spectrales et en résolution spatiale

Les expérimentations réalisées dans le cadre du groupe HRO pour comparer les images à 5m de résolution avec une seule bande spectrale ont montré un intérêt partagé pour le panchromatique et le proche infrarouge, avec un avantage pour le PIR en ce qui concerne la génération automatique de MNT en présence de brumes, mais une préférence plus marquée pour le PAN en ce qui concerne l'interprétation visuelle des détails.

(Cf BRO 89, JAM 89, DOR 89, GAR 90, IST 92)

Lorsque les deux bandes spectrales (panchromatique et proche infrarouge) sont demandées simultanément,

mais avec des résolutions différentes pour les deux bandes, il apparaît une plus nette préférence pour la combinaison PAN 5 m+ PIR 10m que pour PAN 10m + PIR 5m. Cette étude a été réalisée car la transmission simultanée de deux bandes à 5m de résolution apparaît très difficile.

En ce qui concerne les données multi bandes les utilisateurs sont relativement satisfaits des bandes actuelles de SPOT mais confirment leur intérêt pour le MIR qui sera disponible sur SPOT 4. (Cf LOU 93)

La bande bleue (B0) n'est demandée que pour un nombre très restreint d'applications dans le domaine de l'environnement (pour l'océan et les zones côtières). Pour cette raison elle n'a pas été retenue sur SPOT 5-6.

■ Besoins en stéréoscopie et en visées Nadir

La demande en données stéréoscopiques est importante (environ 50 % des images) surtout pour la cartographie, la géologie et l'ingénierie.

Les expérimentations du groupe HRO ont mis en évidence que les exigences relatives au rapport base sur hauteur (B/H) entre les deux images d'un couple stéréoscopique était plus contraignantes pour l'analyse morphologique des formes du terrain (où B/H doit être compris entre 0,7 et 0,9) que pour la génération d'un MNT (où B/H=0,6 semble suffisant). (Cf. BRO 93 et BEA 93).

Les demandes en vues nadir (avec des angles de visée inférieur à 8°) ne sont pas négligeables car elles représentent près du quart du nombre de scènes.

■ Besoins relatifs à la couverture de la prise de vues :

Une fauchée comparable à celle actuellement utilisée pour SPOT (~ 50 km au nadir) est considérée comme acceptable pour la majorité des applications (~ 60 % des besoins) alors qu'une fauchée plus large (≥ 100 km) apparaît intéressante pour ~ 35% des besoins

■ Qualité radiométrique

Deux types de besoins radiométriques peuvent être identifiés: D'une part ceux qui concernent la mesure physique des réflectances, en vue de classification automatique par exemple, et d'autre part ceux qui sont nécessaires pour bien interpréter visuellement les images.

La mesure physique des réflectances demande un bon étalonnage relatif entre les bandes spectrales ou entre différents instruments. Par contre un étalonnage absolu n'est pas considéré comme indispensable par la plupart des utilisateurs.

L'interprétation des images, et de leurs détails ponctuels ou linéaires en particulier, n'est pas facile à spécifier: Les expérimentations réalisées pour identifier l'impact de la FTM et du rapport Signal/Bruit ont montré que les conditions de bonne «interprétabilité»

des images sont très subjectives: elles dépendent à la fois de l'application, des conditions de prise de vues, des régions étudiées et de l'expérience des photo-interprètes.

■ Précision planimétrique

Les besoins exprimés, qui concernent la précision de localisation planimétrique d'un pixel de l'image, après utilisation éventuelle de points d'appui et d'un Modèle Numérique de Terrain sont les suivants: Environ 50% des besoins sont satisfaits si la précision est comprise entre 25 et 50 m, alors qu'une exigence de 25m ou mieux est formulée pour environ 40 % des cas.

■ Précision de localisation absolue

Le besoin d'une bonne localisation absolue, sans utilisation de points d'appui, en supposant que le terrain est plat (le relief n'est pas pris en compte) n'est exprimé que par certains utilisateurs (cartographes civils ou militaires). Suivant les applications l'exigence peut être très variable: de 15m pour la cartographie au 1:50.000, à 200 m pour la cartographie de type JOG, au 1:250.000 et de 50m pour la localisation à 300m pour la recherche de sites à surveiller.

■ Précision altimétrique

L'exigence d'une bonne précision altimétrique (< 5m) est très forte (60% des besoins) parmi les utilisateurs de la stéréo.

■ Délais

Les besoins exprimés, aussi bien pour les délais d'acquisition (entre la demande et la prise de vues) que pour les délais de traitement (entre la prise de vues et la diffusion des produits) ne sont pas très exigeant en général mais certains utilisateurs, dont l'importance économique est grande (ex: agriculture, environne-

ment) demandent des délais assez courts:

Pour l'acquisition le délai doit être de 3 à 5 jours dans 20 % des cas, alors que 3 mois satisfont 50 % des cas. Pour le traitement le délai doit être de 1 à 3 jours dans 15 % des cas alors que 2 semaines satisfont 45 % des besoins.

◆ LES FONCTIONS DE SPOT 5-6

Le système SPOT 5-6 doit pouvoir réaliser trois modes de prise de vues, qui ont été définis, puis spécifier en prenant en compte l'analyse des besoins exprimés par les utilisateurs, les études de marché qui ont permis de pondérer les différentes applications, les contraintes liées à la faisabilité technique, les compromis performances/coûts de développement, ainsi que la durée de réalisation qui doit permettre de disposer de SPOT 5 en 1999.

Ces trois modes de prise de vue, appelés fonctions, sont la fonction Multispectrale (X) qui est une amélioration de la fonction XS actuelle, la fonction Stéréoscopique (S) qui permet la vision du relief et sa mesure dans de bien meilleures conditions qu'actuellement et la fonction Haute Résolution, avec une résolution spatiale améliorée qui assure la continuité avec la fonction P actuelle.

Pour tous ces produits certaines spécifications sont communes, comme la fauchée (au minimum 60 km) et l'accessibilité latérale (dépointage latéral supérieur à 20° possible). Les valeurs spécifiées pour la qualité radiométrique et géométrique sont définies dans les conditions normales d'utilisation du système: La hauteur du soleil ne doit pas être inférieure à 30° (comme pour les spécifications de prise de vues aériennes de l'IGN), l'angle d'incidence au sol ne doit pas dépasser 35° et les latitudes géographiques envisagées sont celles de la presque totalité des terres émergées, excepté l'Antartique (55° Sud à 70° Nord)

Les caractéristiques de ces produits sont indiquées dans le tableau suivant.

PRODUIT	BANDES-RÉSOLUTION	RADIOMETRIE	PLANIMETRIE	ALTIMETRIE
X1 X2 X3 X4	B1-B2-B3 10m MIR 20m B1-B2-B3 10m B1-B2-B3-MIR 20m B1-B2-B3 20m	>= à SPOT 4	dXb=1/3 pixel	NA
S1 S2 S3	PAN 5m B3 10m PAN 5m B1/B2/B3/PAN 10m	A définir au niveau système pour satisfaire	dXb=5m	B/H>0,7 (AC) dZ=5m
H1 H2 H3	PAN 5m B1-B2-B3 10m PAN 5m B1/B2/B3/PAN 10m	la cartographie topographique au 1:50.000	dXp=10m	NA

dXb: Superposabilité multi-bandes dXp: Précision planimétrique dZ: Précision altimétrique
B1-B2-B3 MIR PAN: bandes définies en V-3

Tableau 1: Spécifications générales des fonctions de prise de vues et des produits de base.

CONCLUSION

Le programme SPOT 5-6 est conçu pour assurer d'une part la continuité de fourniture de données SPOT jusqu'au moins à l'an 2010, voire 2012, et d'autre part pour fournir les nouveaux produits demandés par les

utilisateurs, qui deviennent à la fois plus exigeants et plus réaliste grâce à l'expérience acquise depuis 7 ans, de bon fonctionnement de SPOT 1, SPOT 2 et maintenant SPOT 3. Face à une concurrence qui se développe, à un monde qui évolue rapidement, le système SPOT doit allier ces deux notions : Continuité et Améliorations pour rester ce qu'il est actuellement: le meilleur système civil d'observation spatiale de la Terre.

Références:

- ARN 91: SPOT 4: A new generation of SPOT satellites. M. Arnaud, M. Leroy, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 46 (1991), 205-215
- BAU 92: Le programme spatial français pour l'Observation de la Terre. A. Baudoin, M. Chevrel, Int. Journ. Remote Sensing 1992, vol 13, n° 6-7, 1083-1101
- BEA 93: Évaluation de la précision des Modèles Numériques de Terrain obtenus par corrélation automatique dans différentes configurations stéréoscopiques de l'instrument HG. Rapport final. E. Beauvillain. IGN-COGIT. février 1993
- BRA 87: World Cartography. Volume XX. United Nations Aug. 1990. Chapter 1.A : Status of the world topographic mapping to 1987 (A.J. Brandenberger, S.K. Ghosh) pp 1-31
- BRO 89: Évaluation de simulations de l'instrument HRG en vue d'optimiser la stéréoscopie dans la perspective d'application géologique. J.M. Brosse, A. Berthiaux, Ph. Dutartre, M. Imbault, J.Y. Scanvic, J.P. Deroin BRGM Rapport R 30095 TED DT 89 septembre 1989
- BRO 93: Rapport d'évaluation de différentes configurations angulaires stéréoscopiques sur la zone de Saint Martin de Londres (France). J.M. Brosse, O. Rouzeau, J.Y. Scanvic. BRGM R 36461. janvier 1993
- DER 91: Évaluation de simulation HRG à l'aide du capteur aéroporté Push-Broom. Cartographie géologique. Site des Cévennes. J.P. Deroin, J.Y. Scanvic. BRGM Rapport R 32 505. avril 1991
- DOR 89: L'évaluation de simulations de l'instrument HRG en vue de mesurer l'apport de la stéréoscopie couleur. M. Doridot, Ph. Rik, M. Lesauvage, J.J. Gilbert. Rapport LREP D 1.9.08265 octobre 1989
- DOR 91: Évaluation des simulations HG obtenues à l'aide du capteur aéroporté Push-Broom. Analyse d'objets à caractère géologique: Site de Grenoble Sud Isère, Site de Nolay, Côte d'Or. M. Doridot LREP. juin 1991
- FRA 91: A stereo, high resolution concept for the future of the SPOT program. C. Fratter, A. Baudoin, Ph. Munier, M. Baroud. IAF 91-1228
- GAR 90: Évaluation de l'expérimentation «HRG». Rapport de présentation. G. Garry, P. Oliva, M. Le Moigne STU janvier 1990
- GIR 91: Évaluation de simulation HG à l'aide du capteur aéroporté Push-Broom. Étude du bassin d'Arcachon. F. Girault, Y. Leningre. BRGM Rapport R 32 910. juin 1991
- IST 92: SPOT Nouvelle Génération. Influence de la bande spectrale du capteur pour la restitution stéréoscopique automatique. ISTAR. août 1992
- JAM 89: Évaluation de simulations de l'instrument HRG en vue de mesurer l'apport de la stéréoscopie couleur dans le contexte d'une utilisation cartographique. O. Jamet IGN septembre 1989
- JAM 92: Étude de l'influence de la quantification et de la fonction de transfert dans le cadre d'applications cartographiques. Rapport final. O. Jamet. IGN. janvier 1992
- JUL 91: Simulation d'images de Mars pour le projet VAP et évaluation des Modèles numériques de Terrain dérivés. P. Julien. IGN-COGIT novembre 1991
- LOU 93: Décorrélations des bandes spectrales du domaine visible sur SPOT 5. Étude bibliographique préliminaire. S. Louahala. GEOSYS ST/93.375/SL/dva. février 1993
- NON 92: SPOT Nouvelle Génération. Influence du rapport signal sur bruit et de la fonction de transfert de modulation du capteur pour la restitution stéréoscopique automatique. Ph. Nonin. ISTAR. août 1992
- NON 93: Compression des données SPOT NG. Influence du type d'algorithme et du taux de compression sur la corrélation d'images. Ph. Nonin. ISTAR. janvier 1993
- OLI 91: Évaluation de simulation radiométriques de l'instrument HG pour des études urbaines. Aix en Provence. P. Oliva, STU-Université d'Aix en Provence.
- RIO 92: Programme HRG: Évaluation de simulations radiométriques pour les études sur la forêt. Cas de la forêt de pins maritimes des Landes de Gascogne. Compte Rendu provisoire. J. Riou, D. Guyon Laboratoire de Bioclimatologie, INRA. janvier 1992