

PROJET TROIS-GORGES

**UTILISATION DES IMAGES SATELLITES POUR
LA COMPOSITION D'UNE BANQUE DE DONNÉES
INFORMATISÉES SERVANT À LA DESCRIPTION
DU MILIEU ET À L'ÉVALUATION DES IMPACTS**

CIPM

Novembre 1987

TABLE DES MATIÈRES

		<u>Page</u>
1.	DESCRIPTION DES CAPTEURS SATELLITAIRES PERMETTANT UNE ANALYSE DU TERRITOIRE CONCERNÉ PAR LE PROJET TROIS-GORGES ...	1
1.1	SATELLITES DE LA SÉRIE LANDSAT	1
1.2	SATELLITE SPOT	4
1.3	SATELLITES DE LA SÉRIE NOAA	6
2.	POSSIBILITÉS CARTOGRAPHIQUES DES SATELLITES LANDSAT, SPOT ET NOAA	7
3.	DISPONIBILITÉS DES IMAGES SATELLITAIRES	9
3.1	AGENCES DE DISTRIBUTION	9
3.2	CRITÈRES DE SÉLECTION	10
3.3	IMAGES LANDSAT MSS	12
3.4	IMAGES LANDSAT TM	23
3.5	IMAGES SPOT HRV MULTIBANDES ET PANCHROMATIQUES	23
3.6	IMAGES NOAA AVHRR	23
4.	APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION	31
5.	ESTIMATION PAR TÉLÉDÉTECTION DES CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DE LA ZONE D'ÉTUDE	33
5.1	ZONE DU RÉSERVOIR, DE CHONGQING À YICHANG	34
5.1.1	Caractérisation des sources de pollution	34
5.1.2	Qualité des eaux	40
5.1.2.1	Température	40
5.1.2.2	Couleur	41
5.1.2.3	Sédiments en suspension	41
5.1.3	Écoulements	48
5.1.4	Occupation du territoire	49
5.1.5	Carte topographique	50
5.1.6	Représentation tridimensionnelle de la vallée et du réservoir	52

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>Page</u>	
5.1.7	Carte structurale	52
5.1.8	Zones sensibles	53
5.2	ZONE DE YICHANG À SHANGHAI	54
5.2.1	Qualité des eaux	54
5.2.1.1	Température	55
5.2.1.2	Couleur	55
5.2.1.3	Solides en suspension	62
5.2.2	Zones inondables	70
5.2.3	Évolution des lacs	70
5.2.4	Occupation du territoire	71
5.2.5	Zones sensibles	72
5.3	ESTUAIRE ET MER DE CHINE	73
5.3.1	Évolution de l'estuaire et du delta	73
5.3.2	Qualité des eaux	75
5.3.2.1	Température	75
5.3.2.2	Couleur	75
5.3.2.3	Solides en suspension	76
5.3.3	Zones sensibles	76
5.3.4	Coin salin	76
6.	TRAITEMENT INFORMATISÉ DES DONNÉES	78
6.1	TRAITEMENT DES DONNÉES ACQUISES PAR TÉLÉDÉTECTION	78
6.2	CONCEPTION, RÉALISATION ET UTILISATION D'UNE BANQUE DE DONNÉES STRUCTURÉE SELON UN SYSTÈME D'INFORMATION À RÉFÉRENCE SPATIALE	79
7.	PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	81
7.1	APPROCHE SECTORIELLE ET RÉGIONALE	81
7.2	POST-TRAITEMENT ET AFFICHAGE D'IMAGES ET DE CARTES SUR ÉCRAN	81
7.3	PRODUCTION SUR PAPIER D'IMAGES, DE CARTES ET DE GRAPHIQUES	82
8.	ÉVALUATION DES COÛTS	83

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>Page</u>
9. ÉCHÉANCIER	87
10. EXPERTISE CANADIENNE	88
ANNEXE Rapport annuel du Comité consultatif canadien de la télédétection	

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
Tableau 1.1	Caractéristiques principales des capteurs satellitaires disponibles 2
Tableau 2.1	Grosseur des pixels (mm) sur une carte en fonction de l'échelle 8
Tableau 3.1	Images Landsat MSS de EOSAT (satellites 1, 2 et 3) 15
Tableau 3.2	Images Landsat MSS de EOSAT (satellites 4 et 5) 19
Tableau 3.3	Images Landsat MSS disponibles au Japon et en Thaïlande (satellites 4 et 5) 20
Tableau 3.4	Images Landsat TM disponibles au Japon et en Chine par EOSAT (satellites 4 et 5) 25
Tableau 3.5	Images SPOT disponibles 26
Tableau 5.1	Images TM des satellites Landsat 4 et 5, de Chongqing à Yichang 38
Tableau 5.2	Images SPOT de Chongqing à Yichang 42
Tableau 5.3	Images MSS des satellites Landsat 4 et 5, de Chongqing à Yichang 46
Tableau 5.4	Images MSS des satellites Landsat 1, 2 et 3, de Chongqing à Yichang 47
Tableau 5.5	Images TM des satellites Landsat 4 et 5 entre Yichang et Shanghai 59
Tableau 5.6	Images SPOT de Yichang à Wuhan 60
Tableau 5.7	Images MSS des satellites Landsat 4 et 5 entre Yichang et Shanghai 64
Tableau 5.8	Images MSS des satellites Landsat 1, 2 et 3 de Yichang à Shanghai 67
Tableau 8.1	Images requises pour la réalisation de l'étude 84
Tableau 8.2	Évaluation des coûts 85

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
Figure 3.1 Image MSS des satellites Landsat 1, 2 et 3 au-dessus de la Chine	13
Figure 3.2 Image TM et MSS des satellites Landsat 4 et 5 au-dessus de la Chine	14
Figure 3.3 Images HRV du satellite SPOT au-dessus de la Chine	29
Figure 5.1 Images TM et MSS des satellites Landsat 4 et 5 de Chongqing à Yichang	36
Figure 5.2 Images HRV du satellite SPOT de Chongqing à Yichang	37
Figure 5.3 Images MSS des satellites Landsat 1, 2 et 3 de Chongqing à Yichang	45
Figure 5.4 Images TM et MSS des satellites Landsat 4 et 5 de Yichang à Nanjing	56
Figure 5.5 Images HRV du satellite SPOT de Yichang à Nanjing	57
Figure 5.6 Images MSS des satellites Landsat 1, 2 et 3 de Yichang à Nanjing	58

1. DESCRIPTION DES CAPTEURS SATELLITAIRES PERMETTANT UNE ANALYSE DU TERRITOIRE CONCERNÉ PAR LE PROJET TROIS-GORGES

Divers capteurs actuellement en orbite permettent d'acquérir des informations sur le territoire concerné par le projet Trois-Gorges. Comme on peut le constater au tableau 1.1, ces capteurs ont des caractéristiques spectrales et spatiales différentes et sont à bord de satellites ayant des périodes de passage au-dessus d'un même point et des champs de vision différents.

1.1 SATELLITES DE LA SÉRIE LANDSAT

Cinq satellites de type LANDSAT ont permis d'acquérir depuis 1972 de très nombreuses images de la terre. Les trois premiers satellites (LANDSAT 1, 2 et 3) n'avaient à leur bord que le capteur MSS fonctionnant dans quatre bandes spectrales (tableau 1.1). La fréquence de passage de ces satellites au-dessus d'un même point était de 18 jours.

Les deux derniers satellites de la série, lancés respectivement en juillet 1982 et en mars 1984, ont été dotés d'un second capteur multispectral, le capteur TM, qui compte non plus quatre, mais sept bandes spectrales dont une, TM6, dans l'infrarouge thermique.

Les surfaces terrestres réagissent de façon différente à l'énergie solaire incidente et réfléchissent vers le capteur des pourcentages différents de cette énergie suivant la longueur d'onde de l'énergie incidente. Cette caractéristique est utilisée pour identifier les différents types de surfaces en déterminant ce qu'on appelle la "signature spectrale" de chaque surface. Les bandes spectrales d'un capteur sont donc choisies avec cet objectif en tête. Ainsi, dans le cas du capteur TM, on a :

**Tableau 1.1 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES
CAPTEURS SATELLITAIRES DISPONIBLES**

SATELLITE	LANDSAT		SPOT		NOAA
Capteur	TM	MSS	HRV (mode multibande)	HRV (mode pan- chromatique)	AVHRR
Bandes spectrales (μm)	TM1 - 0,45 - 0,52 TM2 - 0,52 - 0,60 TM3 - 0,63 - 0,69 TM4 - 0,76 - 0,90 TM5 - 1,55 - 1,75 TM6 - 10,4 - 12,5 TM7 - 2,08 - 2,35	MSS4 - 0,50 - 0,60 MSS5 - 0,60 - 0,70 MSS6 - 0,70 - 0,80 MSS7 - 0,80 - 1,10	HRV1 - 0,50 - 0,59 HRV2 - 0,61 - 0,68 HRV3 - 0,79 - 0,89	0,51 - 0,73	#1 #1 - 0,58 - 0,68 #2 - 0,725 - 1,10 #3 - 3,55 - 3,93 #4 - 10,5 - 11,3 #5 - 11,5 - 12,5
Résolution spatiale (m)	30 x 30 120 x 120 (TM6)	57 x 79	20 x 20	10 x 10	1 100 x 1 100
Périodicité	18 (LANDSAT 1 à 3) jours 16 (LANDSAT 4 et 5) jours		Visée verticale: 26 jours Visée oblique : 1 à quelques jours		Visible: 1 jour Infrarouge thermique 12 bandes
Territoire couvert (km x km)	185 x 185		60 x 60		2 048

- Bande 1: 0,45 - 0,52 μm . Bonne pénétration dans l'eau, donc utile pour la cartographie des eaux côtières. Cette bande sert également à différencier le sol de la végétation, ainsi que les conifères des arbres à feuilles caduques;
- Bande 2: 0,52 - 0,60 μm . Cette bande sert à évaluer la vigueur de la végétation en mesurant les maxima de réflectance dans le vert;
- Bande 3: 0,63 - 0,69 μm . Bande d'absorption de la chlorophylle, importante pour différencier les divers types de végétation;
- Bande 4: 0,76 - 0,90 μm . Cette bande est utile pour effectuer l'estimation de la biomasse totale et délimiter les nappes d'eau;
- Bande 5: 1,55 - 1,75 μm . Cette bande fournit des indications sur le contenu en eau de la végétation et l'humidité des sols. Elle sert aussi à différencier les nuages de la neige;
- Bande 6: 10,4 - 12,5 μm . Bande infrarouge-thermique permettant l'analyse du stress végétal, l'étude de l'humidité des sols et la cartographie thermique;
- Bande 7: 2,08 - 2,35 μm . Cette bande offre la possibilité de différencier les divers types de roches.

Le tableau 1.1 permet d'identifier l'intérêt des bandes du capteur MSS, en comparant les bandes spectrales de ce capteur à celles du capteur TM.

Notons qu'en pratique, plusieurs bandes spectrales sont utilisées simultanément, soit pour obtenir des compositions colorées combinant les informations de trois bandes spectrales, ou des classifications des types d'occupation du sol à partir d'un nombre variable de bandes.

Les satellites de type LANDSAT produisent des images couvrant une superficie de 185 x 185 km, mais avec des résolutions spatiales différentes: 30 x 30 m pour TM (sauf dans l'infrarouge thermique où la résolution spatiale n'est que de 120 m) contre 57 x 79 m pour MSS.

Enfin, la fréquence de passage au-dessus d'un point donné est maintenant d'une fois par 16 jours depuis LANDSAT 4, alors qu'elle était d'une fois par 18 jours auparavant.

Compte tenu de leur résolution spatiale et spectrale, ces satellites peuvent fournir des images de très bonne qualité, selon, naturellement, la transparence de l'air entre le capteur et la surface.

Les catalogues d'images informatisées fournissent d'ailleurs une évaluation de la qualité de l'image pour un type de capteur donné, ainsi qu'une estimation de la couverture nuageuse.

1.2 SATELLITE SPOT

Lancé au début de 1986, le satellite français SPOT est différent des satellites américains à bien des points de vue. Les Américains avaient augmenté le nombre de bandes spectrales tout en améliorant la résolution spatiale, en passant de MSS à TM. Les Français, quant à eux, ont choisi d'améliorer davantage la résolution spatiale en passant à des pixels de 20 m en mode multibande et à 10 m en mode panchromatique. Le compromis est toutefois d'accepter d'avoir moins de bandes spectrales que TM, en mode multibande, soit trois, correspondant presque aux bandes TM2, TM3 et TM4 (tableau 1).

Le territoire couvert par une image est de 60 x 60 km donc nettement plus faible qu'avec TM ou MSS, mais l'amélioration de la résolution spatiale permet d'obtenir une information sur les détails impossibles à obtenir avec les autres capteurs, ce qui peut s'avérer très

important pour certaines études. Ainsi, le réseau urbain d'une ville est très nettement identifiable sur les images panchromatiques du satellite SPOT. Sa période de passage au-dessus d'un même lieu est de 26 jours. Le satellite SPOT est par ailleurs doté d'une caractéristique unique par rapport aux satellites américains. Un miroir plan orientable par télécommande est placé à l'entrée de chaque instrument. Il permet d'orienter l'axe de visée dans un plan perpendiculaire à l'orbite. Ce déplacement possible dans un angle $\pm 27^\circ$ autour de la position verticale en 45 pas de $0,6^\circ$ permet d'observer des points situés à l'intérieur d'une zone de ± 475 km de part et d'autre de la trace au sol du satellite. Cette capacité de visée latérale permet au satellite SPOT d'observer une région quelconque de la Terre avec une périodicité variant de un à quelques jours, rendant ainsi possible le suivi de phénomènes localisés à évolution relativement rapide. Elle permet aussi la vision stéréoscopique du relief en associant des vues prises sous des angles différents (G.D.T.A., 1981).

La figure 1 permet de mieux visualiser la géométrie de prise de vue d'un même lieu à partir d'orbites différentes correspondant au jour de l'orbite, et ceci pour les latitudes 0° et 45° . Le territoire concerné s'étendant entre 27° et 35° N, le nombre de passages possible par période de 26 jours devrait être de 9 par rapport à 11 à 45° et 7 à 0° .

En ce qui a trait au relief, les études actuelles permettent de considérer une précision de restitution altimétrique de 7 à 10 m, sur une image de 60 km, après recalage par quelques points d'appui. La précision relative entre deux points situés à quelques kilomètres serait d'environ 5 m. De plus, ces données permettent la réalisation directe de modèles numériques de terrain à coût beaucoup moindre que les méthodes conventionnelles (Rochon et al., 1986).

1.3 SATELLITES DE LA SÉRIE NOAA

D'une résolution spatiale beaucoup plus faible que les satellites LANDSAT et SPOT, avec des pixels de 1,1 km x 1,1 km, le satellite météorologique NOAA est par ailleurs le seul à pouvoir fournir des vues synoptiques simultanées de l'ensemble du territoire concerné et en plus avec une fréquence de quatre fois par jour, si l'on considère deux satellites en orbite. Chaque satellite fournit un passage de jour et un passage de nuit, pour lequel seule la bande fonctionnant dans l'infrarouge thermique est utilisable. Les diverses bandes spectrales de son capteur AVHRR permettent d'obtenir des compositions colorées et des classifications, comme le permettraient les autres capteurs. Il peut être intéressant pour effectuer une étude des variations temporelles de l'ensemble du territoire considéré, y compris l'estuaire. Ces bandes spectrales ont d'ailleurs été choisies de manière à permettre des analyses multispectrales conduisant à une détermination améliorée des paramètres hydrologiques, océanographiques et météorologiques.

Les bandes visible (0,58 - 0,68 μm) et visible/proche infrarouge (0,725 - 1,10 μm) sont utilisées pour identifier les nuages, la frontière entre l'eau et le sol, la cartographie de la neige et de la glace et, en comparant les données des deux bandes, les zones de fonte active. Les deux premières bandes IR servent à mesurer la distribution des nuages et à déterminer la température des surfaces radiatives (nuages en surface). La dernière bande spectrale permet d'éliminer la contribution radiative de la vapeur d'eau, lorsque l'on désire déterminer les températures de surface.

2.

POSSIBILITÉS CARTOGRAPHIQUES DES SATELLITES LANDSAT, SPOT ET NOAA

Il a été précisé précédemment que la taille des pixels, c'est-à-dire des plus petits éléments de surface vus par un satellite, varie selon les capteurs. Elle va de 10 m pour le capteur panchromatique de SPOT à 1,1 km pour le capteur AVHRR de NOAA (tableau 1.1). Il s'ensuit que la dimension des pixels sur une image donnée augmentera avec l'échelle de reproduction photographique ou cartographique choisie.

Le tableau 2.1 a été préparé de façon à faciliter la détermination de l'échelle maximale à laquelle on acceptera de travailler. Ainsi, le capteur AVHRR des satellites NOAA, avec une résolution de 1,1 km, ne peut fournir des pixels imprimés de dimensions inférieures à 1,1 mm que si l'échelle est plus petite que 1:1 000 000. Par ailleurs, un pixel du capteur HRV de SPOT, exploité en mode panchromatique, n'aura que 0,2 m sur une photographie ou une carte au 1:500 000 et 0,5 m si l'échelle passe à 1:20 000.

Cette dernière échelle cependant (1:20 000) apparaît comme une limite pour la cartographie à base d'image satellite. À cette échelle, chacun des pixels peut être identifié. On peut passer à des échelles plus grandes, si l'on accepte de voir les pixels. À titre d'exemple, au 1:10 000, le satellite SPOT fournit des pixels de 1 mm en mode panchromatique et de 2 mm en mode multibande.

Tableau 2.1 GROSSEUR DES PIXELS (mm) SUR UNE CARTE EN FONCTION DE L'ÉCHELLE

SATELLITE	LANDSAT		SPOT		NOAA
Capteur	TM	MSS	HRV multibande	HRV panchromatique	AVHRR
1:250 000	0,12 (0,48)	0,23 x 0,32	0,08	0,04	4,40
1:100 000	0,30 (1,2)	0,57 x 0,79	0,20	0,10	11
1:50 000	0,60 (2,4)	1,14 x 1,58	0,40	0,20	22
1:20 000	1,50 (6,0)	2,85 x 3,95	1,0	0,50	55
1:1 000 000	0,03 (0,12)	0,06 x 0,08	0,02	0,01	1,10
1:500 000	0,06 (0,24)	0,11 x 0,16	0,04	0,02	2,20

3. DISPONIBILITÉS DES IMAGES SATELLITAIRES

3.1 AGENCES DE DISTRIBUTION

Des ententes pour la réception et la distribution des produits des satellites LANDSAT et SPOT ont été conclues entre les agences propriétaires des satellites et diverses agences nationales à travers le monde. Ces agences opèrent des stations de réception des images, fournissent des informations sur leur qualité et peuvent aussi les vendre.

Au Canada, il est possible d'obtenir les renseignements désirés sur les images et éventuellement de les acheter auprès des agences suivantes:

- EOSAT Customer Services
Earth Observation Satellite Company
C/O EROS Data Center
Sioux Falls, SD 57198
U.S.A.

(Images LANDSAT MSS des satellites 1 à 5.)

- EOSAT Customer Services
Earth Observation Satellite Company
4300, Forbes Boulevard
Lanham, MD 20706
U.S.A.

(Images LANDSAT TM du satellite 5 captées par la nouvelle station de réception du Beijing en Chine.)

- Remote Sensing Technology Center of Japan
Uni-Roppongi Bldg.
7-15-17, Roppongi, Minatoku, Tokyo, 106
Japan

(Images LANDSAT MSS et TM des satellites 4 et 5.)

- Remote Sensing Division
National Research Council
196 Phahonyothin Road, Bangkokhen,
Bangkok 10900
Thailand

(Images LANDSAT MSS des satellites 4 et 5.)

- Digim (1983) Inc.
1100, boul. Dorchester ouest
Montréal (Québec)
Canada H3B 4P3

(Distribution des images SPOT hors Canada.)

- National Oceanic and Atmospheric Administration
Environmental Data and Information Service
National Climate Center
Satellite Data Services Division
World Weather Building, Room 100
Washington, D.C. 20233
U.S.A.

(Images NOAA.)

En pratique, toutes les images LANDSAT pourraient être commandées à EOSAT. Les prix des mêmes produits peuvent toutefois varier selon l'agence. Enfin, il y aurait lieu de commander de nouvelles listes, avant d'effectuer le choix définitif des images, particulièrement pour obtenir les images captées depuis l'envoi de ces listes.

3.2 CRITÈRES DE SÉLECTION

Les listes d'images fournies par les diverses agences comportent toujours des informations sur le pourcentage de nuages couvrant une image donnée ainsi que sur la qualité de ces images. Les pourcentages de couverture nuageuse, présentés pour l'image entière ou par quadrant, sont habituellement estimés subjectivement à partir

d'épreuves photographiques (quick look). Les erreurs d'estimation peuvent facilement atteindre 10% et même plus. À titre d'exemple, dans la colonne "pourcentage de nuages", on peut lire 0%, alors qu'un commentaire d'utilisateur indique 20%. De plus, on ne sait pas exactement où sont les nuages. La qualité des images estimée à partir des mêmes épreuves peut aussi être erronée. Ainsi, une image peut être considérée "incorrecte" ou de qualité médiocre d'après l'épreuve photographique, mais s'avérer bonne lors du traitement numérique.

Dans ces conditions, il s'avère difficile d'établir des critères très restrictifs pour une présélection des images. Les critères retenus sont donc les suivants:

- Pourcentage de nuages: 30%

Note : Certaines images prises par le satellite LANDSAT-3 comportent des anomalies de départ des lignes (line start anomaly) éliminant environ 30% de l'image. Le pourcentage de nuage doit alors être de 0% pour que l'image soit retenue.

- Qualité: égale ou supérieure à 5 sur une échelle de 0 à 8 (maximum), pour trois bandes sur quatre (MSS).

Compte tenu de ces remarques, certaines images non retenues pourront être sélectionnées éventuellement, si l'intérêt porte sur une partie restreinte de l'image où il n'y a pas de nuages. Il y aurait donc lieu, si des images pour des dates précises sont souhaitées, de vérifier non seulement leur existence mais d'acheter éventuellement un produit photographique de qualité, avant l'achat de produits numériques d'un coût beaucoup plus élevé.

3.3 IMAGES LANDSAT MSS

Tel que précisé en 1.1, les cinq satellites de la série LANDSAT ont tous fourni des images MSS. Il est donc possible, pour certains endroits, de pouvoir obtenir des images à partir de décembre 1973. Un système de référence mondial est utilisé afin de localiser une image au-dessus d'un point donné de la terre.

La zone d'intérêt en Chine correspond aux trajectoires 126 à 137 et aux rangées 038 à 040 pour les satellites 1, 2 et 3 (figure 3.1) et aux trajectoires 117 à 128 et aux mêmes rangées, pour les satellites 4 et 5 (figure 3.2). Notons que les trajectoires des satellites 4 et 5 ne se superposent pas aux précédentes. Il ne s'agit pas d'un simple changement de numérotation. Les images disponibles à EOSAT pour les satellites 1, 2 et 3 sont d'abord présentées au tableau 3.1. Les cases rayées sur ce tableau et les suivantes indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier. Un certain recouvrement existant entre les images, il pourrait s'avérer utile, éventuellement de recourir à des images correspondant à ces centres. On peut constater rapidement que moins d'images sont disponibles pour la région du réservoir que pour celle en aval de Yichang. Il est utile de préciser immédiatement que ce tableau et les suivants, présentent l'ensemble des images considérées normalement acceptables. Des tableaux plus spécifiques seront présentés plus loin pour chacun des aspects de l'étude.

Quant aux images MSS des satellites 4 et 5, elles apparaissent au tableau 3.2 pour celles qui sont disponibles à EOSAT, et au tableau 3.3 pour celles qui sont disponibles soit au Japon, soit en Thaïlande. Très peu de ces images sont donc disponibles à EOSAT directement. On peut par ailleurs remarquer que le Japon fournit les images pour les trajectoires 117 à 122 alors que la Thaïlande dispose de celles des trajectoires 123 à 128. Ceci est dû aux positions respectives des stations de réception. Encore une fois,

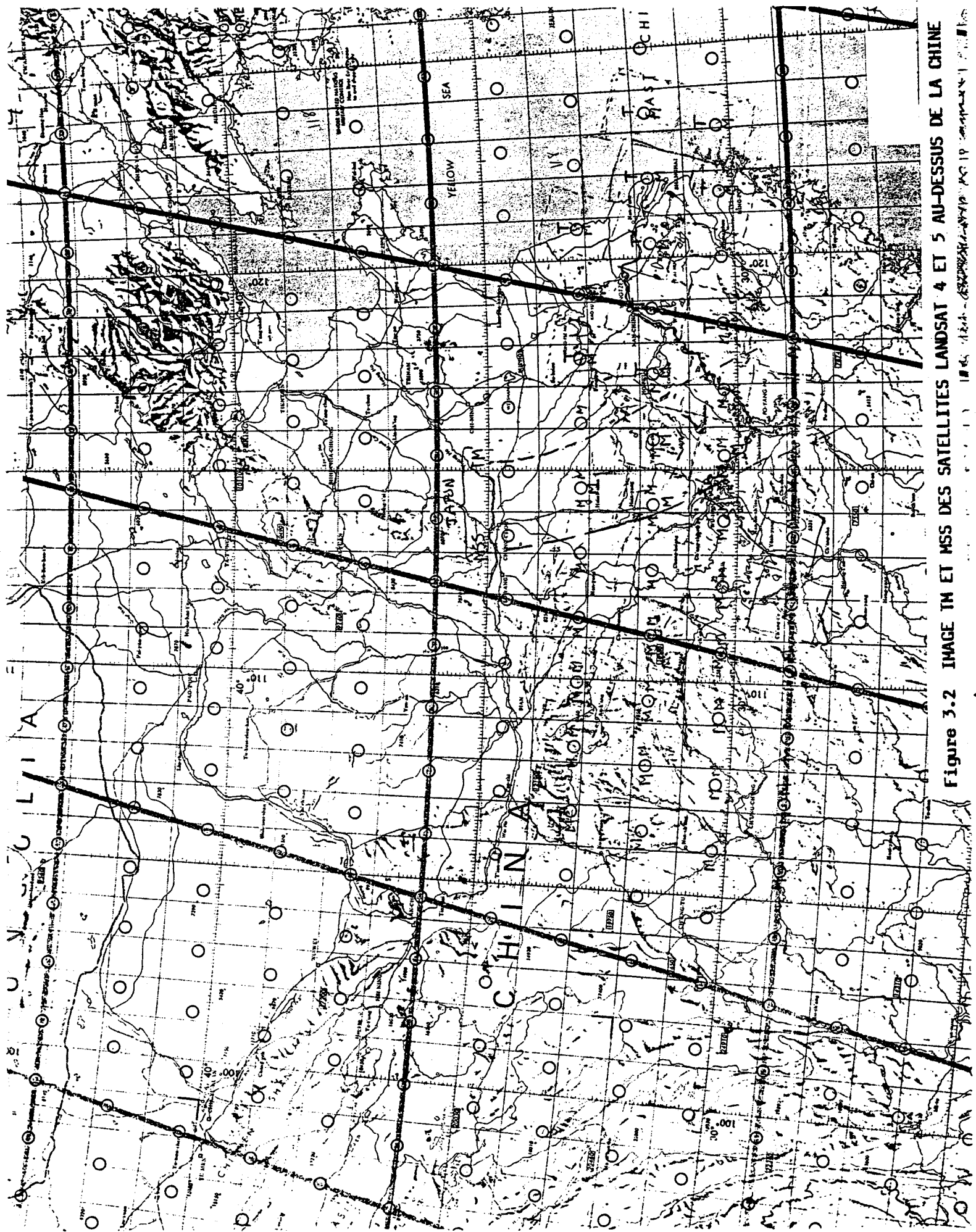


Figure 3.2 IMAGE TM ET MSS DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5 AU-DESSUS DE LA CHINE

Tableau 3.1 IMAGES LANDSAT MSS DE EOSAT (SATELLITES 1, 2 ET 3)

Orbite Rangée	137	136	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126
038		80072031	<u>83012330</u> ¹	82121730	<u>83020830</u>	81121122		<u>81051630</u>	<u>83020430</u>	<u>82122930</u>	81122421	791023J2
		77041023	<u>75061322</u>	80040131	<u>82111030</u>	81072022		<u>81050720</u>	<u>81071721</u>	<u>81122521</u>	81111823	790725J2
		76103021		79110930	<u>81061520</u>	81042122		81042831	81050622	81120720	81071521	75032420
		76041522		79102233	81020923	81040322		800723J0 ²	801213J0	81111921	81052222	73013011
		73123013		79081133	<u>80110230</u>	81031622		79110530	<u>80120430</u>	<u>81111030</u>	81051333	
		73121213		79053131	<u>79110831</u>	80062831		791027J0	<u>801125J1</u>	<u>81102330</u>	81042533	
				78101820	79081031	<u>80041730</u>		79093030	801020J0	81090822	801105J0	
				78100931	79053031	<u>79110730</u>		79080732	800327J0	81071622	800930J3	
				78093020	78101720	79102031		790412J3	791008J1	81020421	800825J3	
				78091221	78092920	79061631		78100533	790920J2	801106J0	800131J1	
				78082522	78091121	79052931		78091731	79091132	80090432	79110233	
				78080722	78090231	78101620		78083031	79080631	800114J0	791024J0	
				78072933	78080621	78092822		78070731	790728J0	791227J3	79080431	
				78043032	78072831	78091023		78062821	79061331	790910J3	790726J3	
				78041230	78071031	78080521		78061023	790517J0	79080531	79052422	
				78032531	78062231	78063021		78051433	790411J0	790727J2	790427J2	
				77060121	78060431	78060331		78040831	790207J0	79061231	79030421	
				77030321	78042930	78052521		77101923	78081133	79052531	78082733	
				77010823	78032432	78050721		77100122	78070731	790206J1	78081823	
				76102820	77070621	78042832		77082621	78062721	78102131	78081823	
				76041321	77021221	78032331		77070321	78051331	78101221	78070431	
				75122722	76122022	77100321		77022723	78042533	78081031	78051130	
				75112121	76120221	77070521		76121721	78040732	78070530	78050223	
				75101622	76111421	77012423		76040923	77082521	78062621	77080523	
				75040121	76100921	77010622		75103022	77080722	78061733	77061221	
				74060813	76043022	76120120		75022021	77070221	78052122	77041921	
				73112210	75122621	76102622		74011112	77042121	78051232	77040121	
					75101522	76100823		73122410	76051423	78031932	76112621	
					75050623	76032421			76042622	77101721	76110822	
					73122711	75110121			75060721	77080621	76102121	
						75022223				77070122	76051222	
						73120810				77042020	76042421	

1 Image comportant une anomalie de départ pouvant éliminer jusqu'à 30% de l'image.

2 Image disponible au Japon d'après EOSAT et dont le numéro du satellite est inconnu.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.1 IMAGES LANDSAT MSS DE EOSAT (SATELLITES 1, 2 ET 3) (suite)

Orbite Rangée	137	136	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126
038 (suite)										77040221	76040623	
										76121520	76021223	
										76112720	76010722	
										76110921	75122021	
										76100422		
										76042520		
										76040721		
										76032021		
										76030221		
										76010820		
									75122120			
									75120321			
									75111521			
									73111610			
039	79072733	80072033	7311231?	80040131	82111030	81092130	81121020	81120930	82121230		82011120	80121032
	79070933	77030523		79110930	81050130	81072022	81061323	81051630	81071721		81122421	79110130
	79062132	77011023		79102230	81040421	80062831	81050820	81050720	81050620		81082021	79102331
	78101233	75122921		79081133	80110230	80041730	80041630	80103030	81121330		81071521	79072531
	78081931	75112322		79053131	80062932	79110730	79110630	79110533	80120430		81060923	75032420
	78080132	73123013		78101821	79110830	79102031	79101931	79093032	80102031		80110530	73013013
	78041532			78100931	79081031	79061631	79100131	79080731	80032730		80082532	
	78032833			78093020	79053031	79052933	79082631	79040331	79100832		79112032	
	77092221			78091221	78101720	78101620	79080831	78091730	79092031		79102430	
	76111822			78082523	78092920	78092821	78121730	78083031	79080631		79083133	
				78072932	78091121	78091023	78100633	78070731	79072832		79080431	
				78071132	78090231	78080521	78083131	78040831	79061332		79072531	
				78051832	78080621	78063021	78081333	77100121	79051730		79052433	
				78043030	78072831	78052522	78072631	77082622	79041131		78080932	
				78041231	78071031	78050721	78051533	77080823	78091632		78072231	
				78032531	78070122	78032332	78041821	76121721	78081133		78070431	

1 Image comportant une anomalie de départ pouvant éliminer jusqu'à 30% de l'image.

2 Image disponible au Japon d'après EOSAT et dont le numéro du satellite est inconnu.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.1 IMAGES LANDSAT MSS DE EOSAT (SATELLITES 1, 2 ET 3) (suite)

Orbite Rangée	137	136	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126
039 (suite)				77060121	78062231	77072323	78040932	75060823	78070631		78051131	
				77010821	78060431	77012423	77070421	75022021	78062722		78050220	
				76041321	78042930	76120123	77022821	73122410	78051331		77080521	
				75112123	78032433	76032421	77021022		78040731		77061222	
				75101620	77070620	75110121	77010521		77082523		77041921	
				75082323	77021222	74060612	76051622		77080722		77040121	
				73112210	76122022	73120811	75122420		77052722		76121421	
					76120221		75103121		76121622		76112620	
					76111422		75052222		76112822		76102120	
					76100921		75022121		76100522		76100321	
					76043021		73122510		76091723		76051222	
					75122620				76042623		76042421	
					75050623				76032122		76040623	
									75060721		76030122	
											76010720	
											75122021	
040		77011022			82111030	80062831	81061323	81120930				
		73123011			81071230	80041730	81050820	81092821				
					79110830	79110730	80111830	81051630				
					79081033	79102031	79110631	81050720				
					79053031	78101621	79101931	79080731				
					78101720	78092823	79100133	79040333				
					78092920	78080522	79082633	78102333				
					78091121	78052522	79080832	78091731				
					78090231	77070521	79070332	78081233				
					78080621	77053023	79061533	78070731				
					78072831	77012423	78121731	78061933				
					78071031	76032423	78083131	77110621				
					78070121	75110121	78072632	77100122				
				78060431	73120810	77080923	77082621					

1 Image comportant une anomalie de départ pouvant éliminer jusqu'à 30% de l'image.

2 Image disponible au Japon, d'après EOSAT et dont le numéro du satellite est inconnu.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.1 IMAGES LANDSAT MSS DE EOSAT (SATELLITES 1, 2 ET 3) (suite)

Orbite Rangée	137	136	135	134	133 ¹	132	131	130	129	128	127	126
040 (suite)					78042930		77070421	77080823				
					77072423		77022821	77070323				
					77070621		77010521	76100620				
					77021220		75122420	76042721				
					76122021		75103121	75103023				
					76120221		73122510	73122410				
					76043021							
					75122620							
				73110313								

1 Image comportant une anomalie de départ pouvant éliminer jusqu'à 30% de l'image.

2 Image disponible au Japon d'après EOSAT et dont le numéro du satellite est inconnu.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.2 IMAGES LANDSAT MSS DE EOSAT (SATELLITES 4 ET 5)

Orbite Rangée	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
038		84072751	84091443		83051841	85042251						
		84032942	84072841		83031543	84112951						
		83090341			83012642	84071643						
		83053041				84031041						
039		84072753	84091442	83051641	83072841	84112951						
		84041441			83080641	84080143						
		84032941				84071643						
		83090341				83020440						
		83053041										
040		84072753			84090851	83090741	84020742					
		83090343			84073041	83080641						
		83053041			83082943	83060343						
					83072842							

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.3 IMAGES LANDSAT MSS DISPONIBLES AU JAPON¹ ET EN THAÏLANDE (SATELLITES 4 ET 5)

Orbite Rangée	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
038		86030340	86100640	86061752	86100842	86900140	86032450	86110440	87010850	87011753	86122552	86121043
		85121342	86051542	86051651	86050950	86060352	86012740	86091741	86122351	87010940	86103042	86101553
		85111952	86030450	86050540	86042350	86030742	85120250	86073143	86112941	86120843	86101441	86081252
			86010741	86030542	86030651	86022751	85071941	86051241	86110550	86102952	86081952	86051640
				85121541	86021852	86021941	85052450	86030151	86092643	86090343	86081143	86050850
				85111341	86021040	85120140	85042251	85121940	86091853	86081843	86072641	86012443
					86010942	85080351	85030552	85112550	86041150	86072552	86053152	85070851
					85111450	85071851	84112951	85110143	86020652	86053041	86052340	85052153
					85102951	85060840	84110541	85100851	86012941	86052250	86051550	85021450
					85080242	83080641	84052153	85080551	86011341	86051440	86050741	84120443
					85071740		84041950	85061853	85121241	86050651	86030440	84102551
					85060750		84020740	85052541	85120453	86031951	86012350	84082251
							83120540	85050153	85111850	86030350	86010750	84080653
							83083140	85032241	85110252	86012241	85112050	84061142
							83020440	84122450	85080642	85121350	85111241	84051851
								84113040	85061943	85111940	85090943	84050252
								84110651	85042450	85111150	85060543	84042440
								84102941	85041640	85100240	85052041	84032340
								84090351	85040853	85080753	85022153	83120241
								84081042	85012641	85041753	85021343	83111641
								84070942	85011040	85011150	84091452	83091343
								83112840	84122541	84111641	84082953	83072740
								83102743	84110743	84091342	84081353	82101241
								83082442	84103051	84082843	84050951	
								83070742	84102243	84080450	84042350	
								83012840	84090441	84070353	84033040	
								83011243	84080340	84051652	84022741	
								82100841	84070243	84050840	84011042	
								84050752	83121640	83120940		
								84041341	83113041	83110742		
								84032841	83111440	83081993		
								83122343	83040443	83080340		
								83110542	88011443	83020840		

1 Les images reçues au Japon sont en caractère gras.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.3 IMAGES LANDSAT MSS DISPONIBLES AU JAPON¹ ET EN THAÏLANDE (SATELLITES 4 ET 5) (suite)

Orbite Rangée	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
038 (suite)									83080140 83012143 82122040 82110241	82111140 82102641	83122240	
039	86070852 85080652	86030341 85011950	86100641 86051542 86030452 86010741	86061752 86051651 85080152	86100841 86050950 86042350 86030650 86021851 86021040 85111450 85102952 85060750 85042052 85040450	86100140 86033150 86030742 86022750 86021940 85071850 85071040 85060840	86032450 86012740 86011141 85071152 85060142 85052452 84110540 83120540 83083140	86110440 86073142 86030152 85121940 85121152 85112550 85110951 85110142 85082943 85080553 85071243 85052541 84122452 84113041 84110652 84102941 84081043 84070943 83112840 83102743 83101141 83680841 82100841	86092641 86072443 86012940 85121243 85111850 85110252 85083053 85080642 85042450 85041641 85040851 85032352 85011041 84122541 84110743 84103051 84102241 84082752 84080341 84071052 84050753 84041342 84032843 83120742 83100442 83080141 82122040		86122553 86120141 86103041 86101440 86081951 86072640 86053150 86052340 86051551 86050741 86031251 86030440 86022451 86012351 86010750 85112050 85111241 85090941 85080842 85072342 85071552 85062143 85050443 85021342 84122741 84120352 84110942	87012743 86121042 86101550 86081252 86051640 86050850 86012443 85052153 85021451 84120443 84080652 84050252 84042440 84041653 84032341 83120241 83111641 83072740 82111343 82101241

1 Les images reçues au Japon sont en caractère gras.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.3 IMAGES LANDSAT MSS DISPONIBLES AU JAPON¹ ET EN THAÏLANDE (SATELLITES 4 ET 5) (suite)

Orbite Rangée	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
039 (suite)									82110241		84091452 84050950 84042350 84033040 84022741 84012643 84011040 83120940 83110741 83081943 83080340 83020841 82122240	
040		86100552 86030341 85011950			86050950 86042350 86030650 86021040 85111450 85060750 85042841 85040450	86051852 86011050 85121740 85071042 85060841	86021240 86012740 85120250 85071942 85071152 85042252	86101150 85112550 85111741 85071240 84113042 84110651 84102940 84081042 84070942 84062342 83112840 83101140 83080841 83012841 82100840				

1 Les images reçues au Japon sont en caractère gras.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

il y a beaucoup moins d'images disponibles au-dessus de la région du réservoir qu'en aval.

3.4 IMAGES LANDSAT TM

Avant la mise en opération de la station de réception de Beijing en Chine, seule la station japonaise pouvait recevoir des images TM. Il n'est donc pas étonnant de constater au tableau 3.4 que très peu d'images TM existent pour la région du réservoir, cette région étant hors de portée de la station japonaise. Il sera particulièrement important pour ce type d'images de voir à obtenir une mise à jour de la liste d'images disponibles, les images TM étant les seules capables de répondre à certains des objectifs précisés plus loin.

3.5 IMAGES SPOT HRV MULTIBANDES ET PANCHROMATIQUES

Des images SPOT multibandes ou panchromatiques ont déjà été acquises au-dessus du territoire concerné et leur liste apparaît au tableau 3.5. La carte permettant de localiser les images est reproduite à la figure 3.3. La mise de ce satellite sur orbite étant très récente et la surface couverte par une image n'étant que de 60 km x 60 km, il restait beaucoup d'endroits sans images, lors de la production de la liste, en juin 1987. On remarque trois concentrations d'images autour de Wanxian, de Yichang et du lac Dongting. Quelques images ont également été prises dans l'estuaire.

3.6 IMAGES NOAA AVHRR

La fréquence de passage au-dessus d'une même surface couverte par les satellites de la série NOAA étant beaucoup plus élevée que celles des satellites LANDSAT et SPOT, aucune recherche d'images n'a été entreprise. De telles images existent et il sera relativement

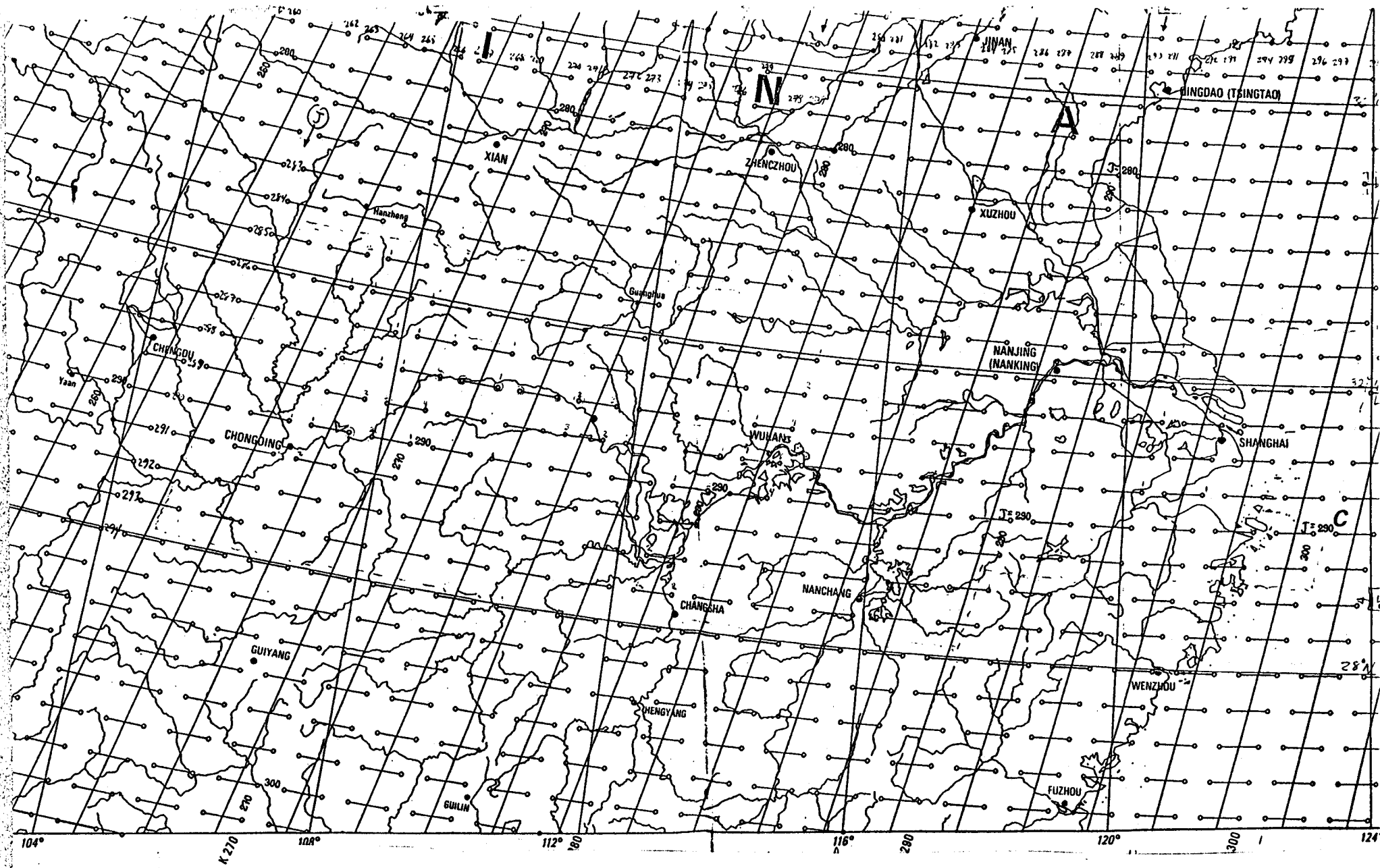


Figure 3.3 IMAGES HRV DU SATELLITE SPOT AU-DESSUS DE LA CHINE

Tableau 3.4 IMAGES LANDSAT TM DISPONIBLES AU JAPON¹ ET EN CHINE PAR EDSAT (SATELLITES 4 ET 5)

Orbite Rangée	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
038		87060250				87051950	87053050 86073051	86030151	87010850	87011753	87051850	86101553
			85112550	86122351	86102952			87022751	86081252			
			85100851* ²	86110550	86072552			86122552	86050850			
			85080551	86091853	86052250			86081952	85070851			
			85061853*	86041150	86050651			86053152	85052153			
			85050153*	86020652	86031951			86051550	84102551			
			84122450*	85120453	86030350			86012350	84082251			
			84110651*	85111850	85111150			86010750	84080653			
			84090351	85110252	85080753			85112050	84051851			
				85042450	85041753			85022153	84050252			
				85040853	85011150			84091452				
				84103051	84080450			84082953				
				84050752	84070353			84050951				
			84051652	84042350								
039			87040852	86061750	87052853 86120350	86073050 84041951*		85111850		87022751	86101550	
		85110252						86122553	86081252			
		85083053						86081951	86050850			
		85042450						86053150	85072453			
		85040851						86051551	85052153			
		85032352						86031251	84080652			
		84103051						86022451	84050252			
		84082752						86012351				
		84071052						86010750				
		84050753						85112050				
								85071552				
								84120352				
								84091452				
			84050950									
			84042350									

1 Les images reçues au Japon sont en caractère gras.

2 Les images suivies d'un astérisque (*) sont considérées "incorrectes" d'après l'épreuve photographique.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.4 IMAGES LANDSAT TM DISPONIBLES AU JAPON¹ ET EN CHINE PAR EOSAT (SATELLITES 4 ET 5) (suite)

Orbite Rangée	128	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
040		86080251					86073051	87042151 86072351				

1 Les images reçues au Japon sont en caractère gras.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.5 IMAGES SPOT DISPONIBLES

J \ K	285	286	287	288	289	290	291	292	293
267						870112XTE	870207XTE 870112XTE		
268					870223XTE 870107XTW				
269			870107XTE	870107XTE	870523PTW 870107XTE 860920XDW	870523PTW 870107XTE			
270			860820PDW	860905PXDW 860815PDW	870518PTW 860905PXDW 860820PXDW 860805XDW	870523PTW			
271			861228XTV	861228XTV					
272			861228XTV	861228XTV					
273									
274									
275				870208XTV 870203XTW 870108XTW	870208XTV 870203XTW 870108XTW				
276				870208XTV 870203XTW 870108XTW	870208XTV 870203XTW				
277									
278									

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.5 IMAGES SPOT DISPONIBLES (suite)

J \ K	285	286	287	288	289	290	291	292	293
279					860921PXDW	860921PXDW	860921PXDW	861219PTW 860921PXDW	861219PTW 860921PXDW
280				870417XTE 870130PTW 861203XTW	870417XTE 870130PTW 861203XTW 861006PTE	861006PTE 860525PXDW	860525PXDW	861219PTW 861002PTW 860525PXDW	861219PTW 860525PXDW
281				861102XTW	861102XTW				
282				861203XTE 861102XTW 861012XTE 860419PXDW	870417XTE 870109PTW 861203XTE 861102XTW 861012XTE 861006PTE	870417XTE 870317XTE 870109PTW 86106PTE			
283									
284									
285									
286									
287									
288									
289									

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 3.5 IMAGES SPOT DISPONIBLES (suite)

J \ K	285	286	287	288	289	290	291	292	293
290									
291									
292									
293									
294		860510PXDE 860505PXDE							
295									
296			860303XDE						
297									

Légende: K : colonne orientée parallèlement à la direction du satellite;
 J : ligne correspondant à un parallèle du globe terrestre;
 Date : année, mois, jour: AAMMJJ (ex.: 860513);
 Mode spectral : P (panchromatique);
 X (multibande);
 PX (panchromatique et multibande);
 Configuration de prise de vue: T (jumelée);
 D (mono instrument);
 Direction de visée : E (vers l'est);
 W (vers l'ouest);
 V (vertical).

Note: - la qualité technique des images est considérée excellente;
 - la couverture nuageuse est inférieure à 10%.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

facile de les commander pour les dates où elles seront désirées. Ces images seront surtout utiles pour décrire les courants dans la mer de Chine et suivre au besoin l'évolution des saisons sur l'ensemble du territoire.

4. APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION

Par suite de la surface couverte à chaque prise de vue (34 225 km² pour une image LANDSAT), de l'utilisation de capteurs multibandes à bord de satellites et de la précision sans cesse croissante de ces capteurs, la télédétection apparaît actuellement comme l'une des meilleures sources de renseignements sur une région donnée. En effet, avec des points de contrôle adéquats au sol, il est possible de mettre à jour régulièrement la cartographie du milieu. Le nouveau satellite SPOT permet même d'obtenir des coupes d'images stéréoscopiques d'où pourront être tirés des modèles numériques de terrain et des cartes topographiques. L'occupation du territoire peut aussi être répartie en classes et cartographiée. La disponibilité d'images satellitaires depuis 1973 permet en outre de retracer l'évolution de l'occupation du territoire depuis cette date, ou encore celle des lacs ou des rivières. La qualité des eaux peut aussi être estimée.

Il ne s'agit pas ici de remplacer les données au sol ou les photographies aériennes existantes. Les images acquises par télédétection prennent toute leur valeur lorsqu'elles sont intégrées à ces données au sol et interprétées avec leur aide. Les données ponctuelles au sol et les données acquises par télédétection se valorisent mutuellement. Les photographies aériennes à grande échelle peuvent aussi aider à interpréter ces images, mais il faut se rappeler que ces photographies peuvent très rapidement être dépassées, surtout dans certaines régions où l'activité humaine est grande.

Parce qu'elles sont au départ numériques, les images acquises par télédétection peuvent enfin être traitées par des systèmes avancés de traitement numérique. À titre d'exemple, après répartition des pixels d'une image en classes d'occupation du territoire, on peut calculer les superficies couvertes par chacune de ces classes de façon automatique. Ces données peuvent aussi être intégrées à

d'autres informations dans une banque de données structurée selon un système d'information à référence spatiale.

En résumé, les images acquises par télédétection permettent d'aborder l'étude d'un territoire donné avec une approche nouvelle susceptible de fournir des informations plus cohérentes dans le temps et dans l'espace.

5. ESTIMATION PAR TÉLÉDÉTECTION DES CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone étudiée est immense et les caractéristiques à étudier sont différentes dans la région du réservoir, en aval et dans l'estuaire et la mer de Chine. L'identification des caractéristiques retenues pour chacune de ces zones, et des images disponibles, de même que des possibilités d'étude de ces caractéristiques par télédétection seront donc présentées en respectant ces différences géographiques.

On souhaitait, au départ, présenter des images correspondant à des événements hydrologiques précis. Nous avons malheureusement dû constater que cette approche ne pouvait être adoptée compte tenu des images disponibles. Des tableaux spécifiques tirés des tableaux 3.1 à 3.5 sont présentés dans la section 5. Ces tableaux ont été préparés pour des capteurs et des saisons spécifiques. La démarche suivie devra donc être à l'inverse de celle qui était souhaitée. En d'autres termes, compte tenu de l'existence d'une image provenant d'un capteur particulier, quelles sont les données hydrologiques correspondantes? Cette approche devrait toutefois donner bon nombre des réponses souhaitées.

Enfin, il existe, tant au Canada qu'à travers le monde, une vaste expertise sur l'application de la télédétection pour l'estimation des diverses caractéristiques dont il sera question dans les sections suivantes. Un grand nombre d'auteurs pourraient donc être cités à l'appui de telle ou telle approche. Dans le cadre de ce rapport, nous nous entendrons plutôt à ne citer que quelques auteurs. Notre but est davantage de donner un aperçu de ce que la télédétection peut apporter pour la connaissance des caractéristiques du milieu que d'élaborer dans tous leurs détails les approches de traitement des données acquises par télédétection.

5.1 ZONE DU RÉSERVOIR, DE CHONGQING À YICHANG

Les caractéristiques du milieu dans cette zone à prendre en considération se résument à:

- la caractérisation des sources polluantes (panache, diffusion, etc.);
- la qualité des eaux (température, sédiments en suspension, couleur);
- l'écoulement en rivière (tourbillons, eaux mortes, etc.);
- l'occupation et l'utilisation du territoire sur une bande de 20 km de chaque côté du réservoir ou du fleuve Yangtze;
- la cartographie de la topographie du territoire sur une bande de 20 km de chaque côté du réservoir;
- la représentation tridimensionnelle de la vallée et du réservoir;
- la carte structurale du territoire;
- les zones sensibles.

5.1.1 Caractérisation des sources de pollution

Afin de prévoir la dispersion des polluants après la création du réservoir, il est nécessaire de bien décrire la situation actuelle, c'est-à-dire d'identifier les principales sources de pollution et de tenter de caractériser leur panache, en période d'étiage comme en période de crue, c'est-à-dire en hiver comme en été.

Il est souhaitable d'observer ce qui se passe sur l'ensemble de la zone du réservoir, mais avec une attention particulière pour les villes de Chongqing et Wanxian.

La largeur des différents cours d'eau et les dimensions probables des panaches requièrent des données de haute résolution spatiale, de préférence des données TM et même SPOT. L'identification des panaches peut se faire en procédant à une accentuation (enhancement) des bandes TM ou SPOT dans le visible, l'eau absorbant presque tout le rayonnement solaire incident dans l'infrarouge. Si l'on désire pousser plus loin l'analyse pour obtenir des estimations quantitatives de concentrations de solides en suspension, par exemple, il est nécessaire d'établir alors des corrélations entre les données au sol et les données satellitaires. On y reviendra en 5.1.2.

Les échelles des figures 3.1, 3.2 et 3.3 étant trop petites pour qu'il soit facile de vérifier si tel ou tel point d'intérêt est bien à l'intérieur d'une image particulière, ces cartes ont été agrandies par photocopie de manière à ce que leur échelle corresponde à celle de la carte disponible pour la zone du réservoir. Les centres d'images des figures 3.1, 3.2 et 3.3 ont alors été superposés à cette carte pour obtenir les figures 5.1 (LANDSAT 4 et 5), 5.2 (SPOT) et 5.3 (LANDSAT 1, 2 et 3). Il est à noter que les centres d'images indiqués sont les centres nominaux et que le centre réel peut en être éloigné de 40 km pour les satellites LANDSAT 1, 2 et 3, de 20 km pour les satellites LANDSAT 4 et 5. La précision pour le satellite SPOT est moins que 20 km. Si un point d'intérêt est près de la limite nominale d'une image, il devient donc très important de vérifier sa présence sur l'image désirée, en contrôlant d'abord la position réelle du centre d'image et en recourant, au besoin, à une épreuve photographique, particulièrement s'il y a des nuages.

Le tableau 5.1 présente les images TM disponibles en hiver et en été pour l'étude des panaches. Ce tableau, ainsi que tous les autres de cette section 5, sont tirés des tableaux de la section 3. Toutes

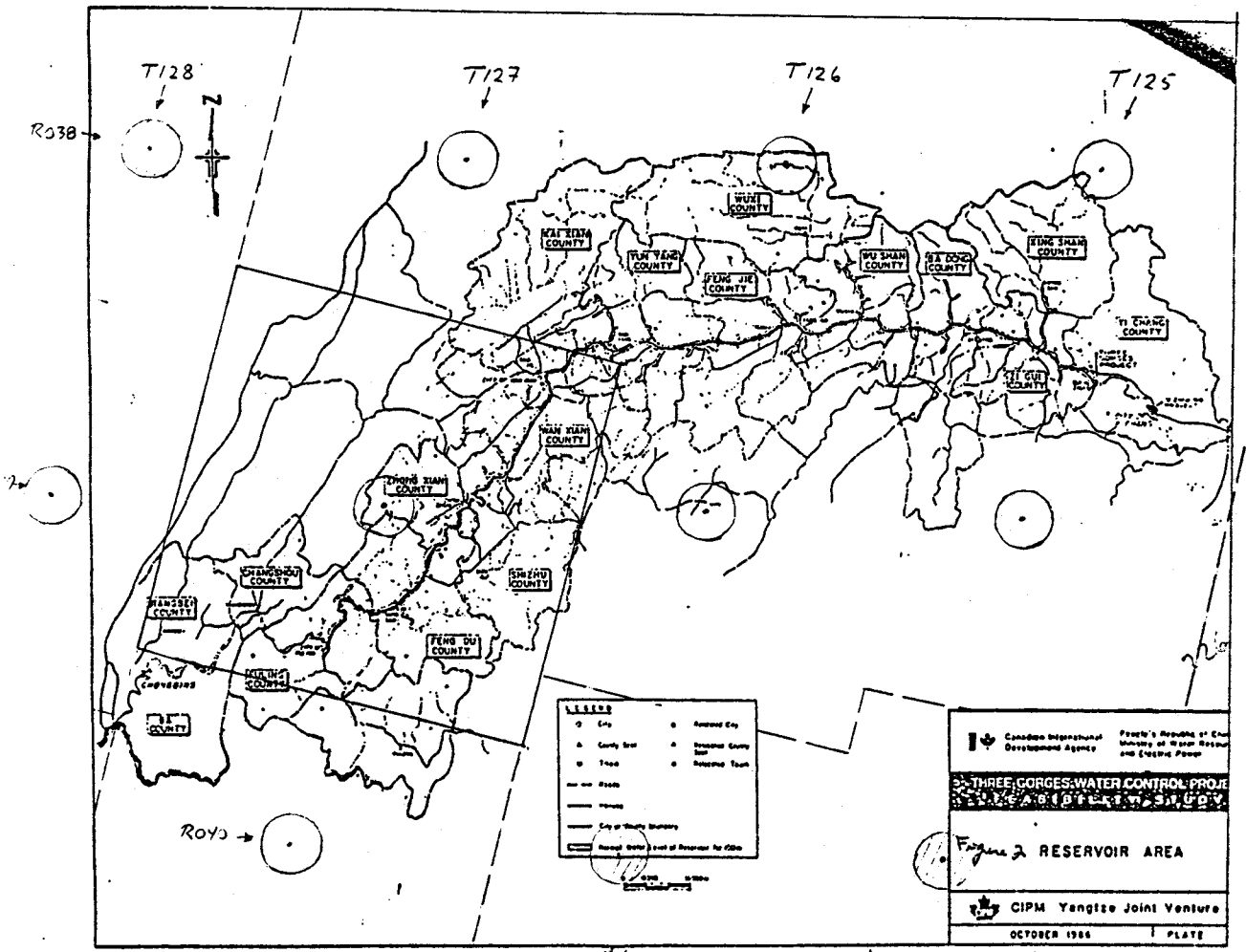


Figure 5.1 IMAGES TM ET MSS DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5 DE CHONGQING À YICHANG

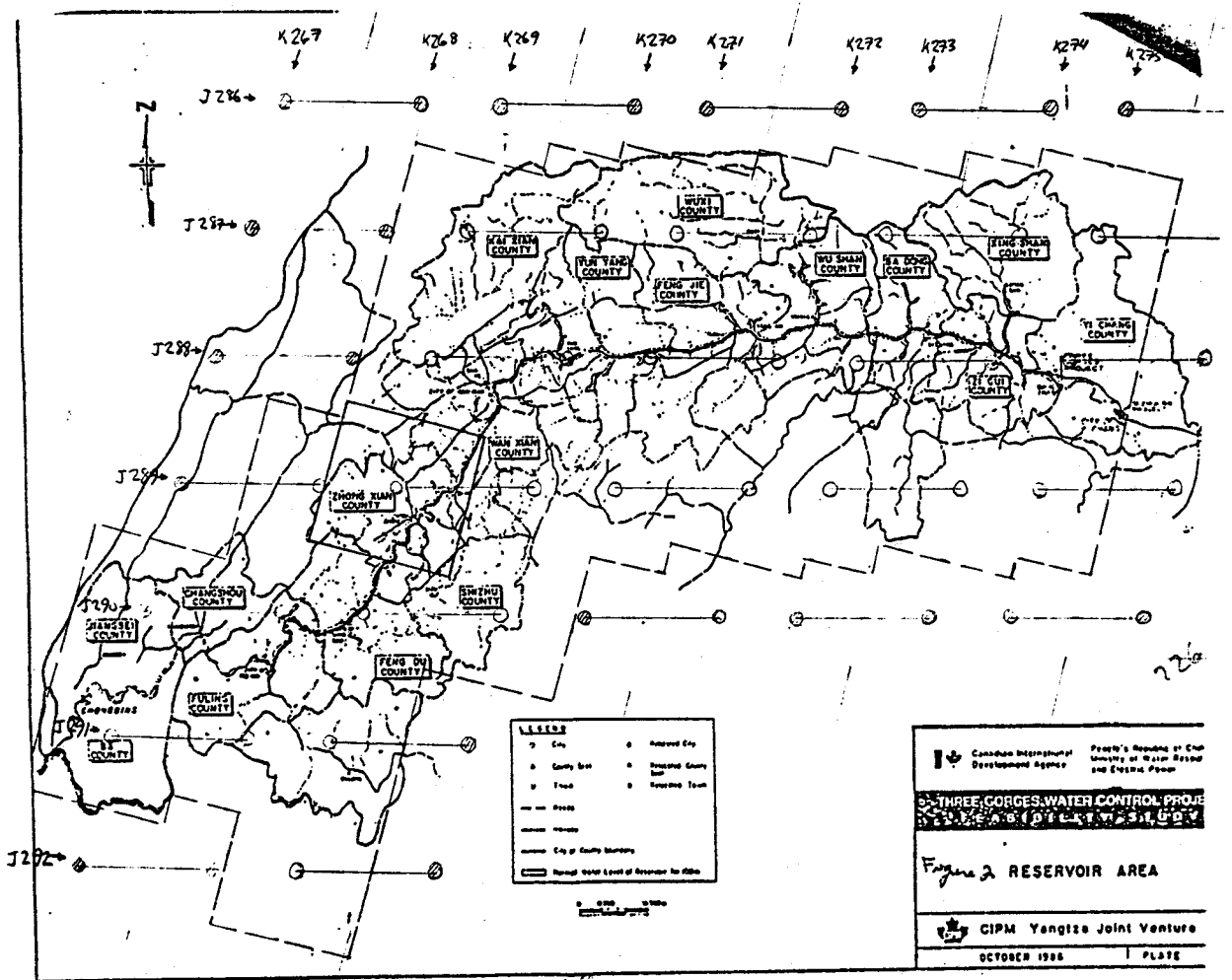


Figure 5.2 IMAGES HRV DU SATELLITE SPOT DE CHONGQING À YICHANG

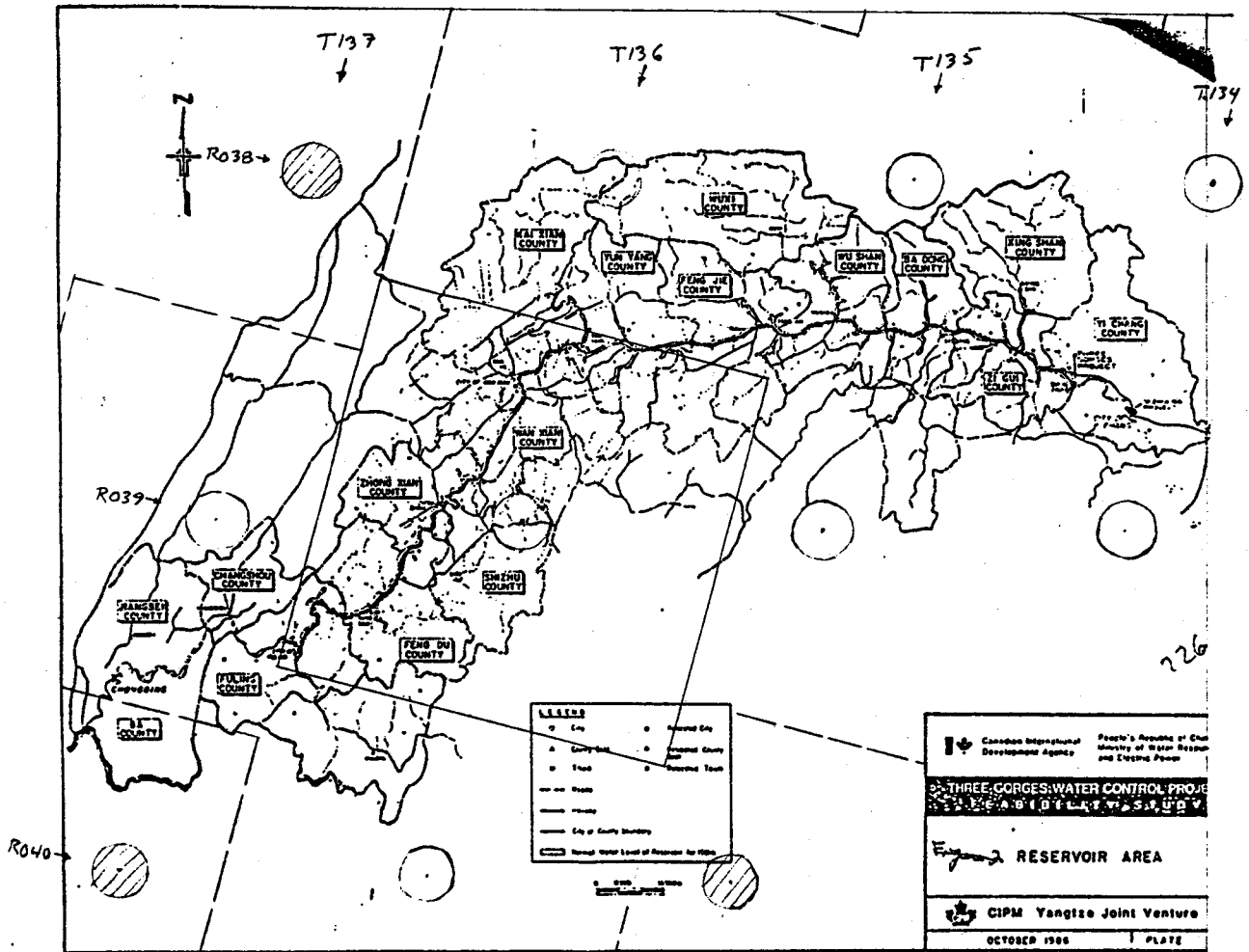


Figure 5.3 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 1, 2 ET 3 DE CHONGQING A YICHANG

Tableau 5.1 IMAGES TM DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5,
DE CHONGQING À YICHANG

		TRAJECTOIRE			
		128	127	126	125
RANGÉE					
Hiver	038				
	039			870408	
	040				
15 déc.- 15 avril	038		870602		
	039				860617
	040		860802		
Été	038				
	039				
	040				
15 juin- 15 sept.	038				
	039				
	040				
Automne	038				
	039				
	040				
15 sept.- 15 déc.	038				
	039				
	040				

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

les images des tableaux de la section 3 ne seront pas nécessairement retenues dans les tableaux de la section 5.

On constate rapidement que huit (8) images (ou parties d'images) en saison seraient nécessaires, de préférence à des dates très rapprochées, pour fournir les renseignements désirés. Seulement une image est effectivement disponible en hiver, contre trois en été à des mois et des années différents.

Des images SPOT sont aussi disponibles, malgré la mise sur orbite relativement récente de ce satellite (tableau 5.2). Ajoutées aux images TM, ces images permettent de couvrir environ 60% de territoire à chacune des saisons. Si, enfin on ne tient pas compte de la saison, près de 90% du territoire est couvert au moins une fois par ces images prises au cours des années 1986 et 1987.

Environ 25% du territoire est couvert par des images en hiver et en été. En particulier, les environs de la ville de Chongqing sont couverts par deux images SPOT en hiver et une image TM en été. Quant aux environs de la ville de Wanxian, ils sont couverts par une image SPOT en été et une image TM en hiver.

Il est donc possible de vérifier la modification du panache des sources de pollution autour de ces deux villes selon que l'on est en crue ou en étiage. Cette vérification peut aussi être réalisée, selon les données disponibles actuellement sur les 25% du territoire qui sont couverts par des images en été et en hiver. Ailleurs, on ne peut caractériser les panaches qu'en période de crue ou en période d'étiage.

Il est souhaitable d'obtenir une couverture complète de la zone d'étude par des images TM et d'ajouter à ces images des images SPOT pour une analyse plus détaillée de certains points, les villes de Chongqing et Wanxian en particulier.

5.1.2 Qualité des eaux

Parmi les paramètres de qualité des eaux qui pourraient être étudiés, nous retiendrons la température, la couleur et les sédiments en suspension. Rappelons encore une fois que des estimations quantitatives de la distribution spatiale de ces paramètres sur les cours d'eau ne peuvent être obtenues que si des observations adéquates au sol peuvent être obtenues pour étalonner les données satellitaires. Les informations désirées pour chacun de ces paramètres et les données satellitaires nécessaires pour les obtenir étant différentes, ces paramètres seront présentés séparément.

5.1.2.1 Température

Un seul capteur permet d'obtenir la température à la surface des cours d'eau, avec une résolution spatiale suffisamment élevée; le capteur TM. La résolution spatiale de ce capteur est de 120 m, mais il est possible de faire passer cette résolution à 30 m en utilisant les informations fournies par les autres bandes du capteur, qui, elles, ont une résolution de 30 m (Tom et Carlotto, 1985).

La connaissance de la distribution spatiale des températures à la surface d'un cours d'eau permet en particulier de séparer les eaux de diverses provenances, si leurs températures sont différentes, et d'aider à étalonner un modèle d'écoulement à éléments finis (Dubé et al., 1987). Ces données peuvent aussi permettre de mieux caractériser certaines sources de pollutions, si les rejets sont effectués à des températures nettement différentes de celles des eaux réceptrices.

Il serait souhaitable que des données thermiques soient disponibles en hiver et en été. Tel que constaté au tableau 5.1, d'autres images seront donc nécessaires pour compléter celles qui sont

actuellement disponibles. En effet, une seule image a été retenue en hiver et trois en été.

5.1.2.2 Couleur

En fonction des caractéristiques propres à leur bassin, les divers tributaires du Yangtze déversent dans le fleuve des eaux plus ou moins chargées et colorées. Il est souhaitable de pouvoir distinguer les tributaires et de les classer au moins selon une échelle qualitative de couleur. Connaissant leur débit et possédant au moins une estimation qualitative de leur charge, on pourra mieux prévoir les actions à prendre pour assurer la qualité désirée des eaux du futur réservoir.

Les bandes des capteurs TM et SPOT dans le visible peuvent permettre d'obtenir les renseignements souhaités sur les couleurs respectives des différents affluents et du fleuve Yangtze (Klemas, 1986). Les données nécessaires apparaissent aux tableaux 5.1 et 5.2. Les mêmes remarques que précédemment sur le besoin d'acquérir d'autres images s'appliquent et nous n'allons pas les réitérer.

5.1.2.3 Sédiments en suspension

La concentration de sédiments en suspension est aussi un paramètre très mesuré, lorsque l'on désire évaluer la qualité de l'eau des cours d'eau. Dans le cas actuel, il serait très utile de connaître tant la variation spatiale des concentrations que leur variation temporelle. En d'autres termes, dans la zone du réservoir, où sont les principales sources de sédiments (concentrations élevées) et où se déposent-ils, s'ils se déposent? Les concentrations en sédiments ont-ils subi des variations importantes au cours de la dernière décennie?

Tableau 5.2 IMAGES SPOT DE CHONGQING À YICHANG

		K		J						
		267	268	269	270	271	272	273	274	275
Hiver 15 déc.- 15 avril	287			870107		861228	861228			
	288			870107		861228	861228			870208 870203 870108
	289		870223 870107	870107						870208 870203 870108
290	870112		870107							
291	870207 870112									
Été 15 juin- 15 sept.	287				860820					
	288				860905 860815					
	289				860905 860820 860805					
290										
291										
292										

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5.2 IMAGES SPOT DE CHONGQING À YICHANG (suite)

		K	267	268	269	270	271	272	273	274	275
J											
Automne 15 sept.- 15 déc.	287										
	288										
	289				860920						
	290										
291											
292											

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Encore une fois, la télédétection peut apporter une réponse à ces interrogations, les variations de concentrations en surface influençant la quantité d'énergie solaire réfléchie vers le capteur (Rimmer et al., 1987).

Il serait souhaitable de disposer de données satellitaires ayant une bonne résolution spatiale et donc des images fournies par les capteurs TM et SPOT. Tel que précisé plus haut, en commentant les tableaux 5.1 et 5.2, très peu de ces images sont actuellement disponibles. On peut s'orienter vers un second choix, les images fournies par les capteurs MSS à bord des cinq satellites LANDSAT.

Le tableau 5.3 nous apprend que si nous acceptons de diminuer la résolution spatiale, il est possible d'obtenir une série d'images couvrant presque toute la zone du réservoir en 48 heures, soit du 3 au 5 mars 1986. L'image de centre (P128, R039) n'est probablement pas nécessaire. Il faudrait toutefois vérifier l'existence et les paramètres (ennuagement et qualité) de l'image de centre (P125, R039). En été, les images retenues ne permettent pas d'obtenir une vue pratiquement simultanée de l'ensemble de la zone, toutefois trois images ont été prises le 27 juillet 1984 et une le lendemain 28 juillet, couvrant ainsi plus de la moitié de la zone. Deux autres images, prises le 17 juin 1986, permettent de compléter la couverture. Ces images ne sont toutefois pas de la même année que les premières.

Relativement peu d'images MSS prises par les satellites LANDSAT 1, 2 ou 3 ont été retenues (tableau 5.4). Il est bon de remarquer tout de suite que les centres d'images sont aux mêmes latitudes que ceux des satellites LANDSAT 4 et 5, mais pas aux mêmes longitudes. Le décalage est à peu près d'une demi-image. En hiver, il est possible de trouver quatre images prises à deux jours d'intervalle entre elles: les 8 et 10 janvier 1977. En été, deux images ont été prises le même jour, soit le 20 juillet 1980 et trois autres en août 1978.

Tableau 5.3 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5,
DE CHONGQING À YICHANG

		TRAJECTOIRE			
		128	127	126	125
RANGÉE					
Hiver	038		86030340	86030450	86030542
			84032942	86010741	
15 déc.- 15 avril	039		86030341	86030452	
			85011950	86010741	
	040		86030341		
			85011950		
Été	038		84072751	84072841	86061752
15 juin- 15 sept.	039	86070851	84072753	84091442	86061752
		85080652			85080152
	040		84072753		
Automne	038		85121342	86100640	85121541
			85111952		85111341
15 sept.- 15 déc.	039			86100641	
	040		86100552		

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5.4 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 1, 2 ET 3,
DE CHONGQING À YICHANG

		TRAJECTOIRE			
		137	136	135	134
RANGÉE					
Hiver 15 déc.- 15 avril	038		77041023 76041522	83012330 ¹	80040131 78041230 78032531 77030321 77010823 76041321 75040121
	039	78041532 78032833	77030523 77011023		80040131 78041231 78032531 77010821 76041321
	040		77011022		
Été 15 juin- 15 sept.	038		80072031	75061322	79081133 78082522 78080722 78072933 74060813
	039	79072733 79070933 79062132 78081931 78080132	80072033		79081133 78082523 78072932 78071132 75082323
	040				
Automne 15 sept.- 15 déc.	038		76103021 73121213		79110930 79102233 78101820 76102820 75112121 75101622 73112210
	039	78101233 76111822	75112322	7311231X ²	79110930 79102230 78101821 75112123 75101620 73112210
	040				

1. Anomalie de départ.

2. Pourcentage de nuages inconnu.

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

En résumé, les images MSS permettent de vérifier l'évolution des concentrations de sédiments en suspension dans le temps, mais leur résolution spatiale plus faible empêche d'observer ce qui s'est passé dans les tributaires étroits. Rappelons que la résolution spatiale des images MSS est de 57 x 79 m.

Il est donc à souhaiter que d'autres images TM ou SPOT comportant un couvert nuageux faible soient prises d'ici le début d'une étude du territoire par télédétection.

5.1.3 Écoulements

Les régimes d'écoulement dans le Yangtze et ses principaux affluents en haute et en basse eaux sont aussi une variable à considérer. Plus particulièrement, on souhaite localiser les zones de rapides ou encore d'eaux mortes, les tourbillons, etc. Ces caractéristiques sont souvent d'étendue restreinte et nécessitent donc des données de haute résolution spatiale.

L'idéal serait de recourir à des données SPOT panchromatiques et multibandes, ces dernières étant rééchantillonnées à l'aide des premières à 10 m (Tom et Carlotto, 1985) et accentuées. Sachant toutefois que cette information peut être obtenue par modélisation mathématique et que des images TM et SPOT devront être acquises pour réaliser les objectifs précédents, il est suggéré de recourir à ces images, sans acquisition spécifique d'images. Toutefois, l'acquisition d'au moins quelques images SPOT pourrait être considérée s'il s'avérait nécessaire de vérifier certains résultats de la modélisation mathématique.

5.1.4 Occupation du territoire

Une bonne planification des actions à entreprendre dans un projet hydroélectrique exige aussi une bonne connaissance de l'occupation et de l'utilisation du territoire. Les données les plus récentes sont alors requises. Par ailleurs, la connaissance de l'évolution de cette occupation depuis 10 à 15 ans peut aussi apporter des informations très utiles.

Pour le moment, on peut considérer une classification de cette occupation à l'aide d'images prises en hiver, en été et en automne, au niveau de grandes unités: forêts, zones agricoles, zones urbaines, zones industrielles et plans d'eau.

La télédétection peut facilement permettre de classifier des images selon ces classes avec un minimum d'information de contrôle. En effet, ces types d'occupations sont facilement reconnaissables par un opérateur ayant un minimum d'expérience en traitement d'images. L'utilisation d'images prises en différentes saisons permettra en outre d'identifier des sous-classes où des changements saisonniers se produisent. Par ailleurs, si des sous-classes forestières ou agricoles précises étaient souhaitées, il serait alors préférable, sinon nécessaire, de recourir à des renseignements précis sur le terrain.

Il a été précisé auparavant qu'il n'existait pas de couverture complète du territoire par les données TM et SPOT disponibles actuellement (tableaux 5.1 et 5.2). Pour l'hiver et l'été, il est recommandé de compléter et remplacer des images du tableau 5.1 par de nouvelles images prises depuis l'acquisition des listes. Faute de pouvoir obtenir des données TM ou SPOT pour couvrir tout le territoire, on pourrait avoir recours à des données MSS (tableau 5.3). Le tableau 3.4 (images TM) ne contient aucune image d'automne, pas plus que le tableau 3.5 (images SPOT). Il faut donc espérer obtenir des images en 1987. Il existe cependant des images

MSS de 1985 et 1986 (tableau 5.3) qui pourraient constituer un second choix.

Enfin, le tableau 5.4 présente aussi les images MSS des années précédentes. Le choix n'est pas tellement grand, sauf pour la trajectoire 134 et le territoire n'est pas totalement couvert, à moins de ne pas faire de distinction entre les saisons.

En résumé, il vaut mieux compter sur l'année 1987 pour obtenir une couverture complète récente du territoire et une (ou deux) classification peut aussi être réalisée à l'aide d'images MSS datant d'environ 10 ans.

5.1.5 Carte topographique

La détermination de la variation de la surface du réservoir en fonction du niveau d'eau, du niveau de contrôle des crues et la gestion environnementale de l'ensemble de la zone du réservoir demande une cartographie précise de la topographie de cette zone. De plus, afin de pouvoir bénéficier de tous les avantages de l'informatique, cette carte doit être disponible sous une forme numérique.

Diverses options s'offrent. On peut tout d'abord numériser les cartes existantes au 1:50 000. Les cartes disponibles au CIPM ne sont que des photocopies, ce qui implique des déformations spatiales. L'écart entre les courbes de niveau est de 20 m, ce qui implique une précision de 20 m sur la verticale. Des modifications au réseau routier en particulier doivent s'être produites depuis leur impression. Si cette option était choisie, il faudrait partir de cartes d'excellente qualité et de préférence à une échelle se rapprochant du 1:20 000.

La précision la meilleure serait obtenue par la prise de nouvelles photographies aériennes stéréoscopiques au-dessus de l'ensemble du territoire. Il serait alors nécessaire de disposer de nombreux points de contrôle au sol, pour assurer une précision suffisante sur l'horizontale et la verticale.

Enfin, il est possible d'avoir recours au satellite SPOT pour obtenir des couples stéréoscopiques permettant de préparer une carte topographique précise de la zone. en mode panchromatique, le satellite SPOT fournit des pixels de 10 m x 10 m. Il sera alors nécessaire de passer une commande spéciale à la société SPOT Image. Les centres d'images nécessaires apparaissent au tableau 5.2 à la figure 5.3. Ces images doivent, de préférence, avoir été prises à peu près à la même époque de l'année.

La suite de la stabilité de la plateforme orbitale et des dimensions de l'image, un nombre de points de contrôle très inférieur à celui nécessaire pour les photographies aériennes est nécessaire pour assurer une précision équivalente. Selon les études réalisées jusqu'à maintenant, la précision verticale absolue d'un point serait meilleure que 10 m.

Cette façon de procéder permettrait de fournir l'altitude à tous les 10 m pour l'ensemble de la zone. Divers produits pourraient être dérivés de ces informations, dont une carte topographique, une carte des pentes, de leur orientation.

La décision sur l'approche retenue doit prendre en compte l'évaluation que l'on peut faire de la précision spatiale et verticale que l'on peut attendre des cartes disponibles actuellement ou éventuellement disponibles. Par ailleurs, si ces cartes ne peuvent être utilisées, les images SPOT seraient probablement un meilleur investissement que les photographies aériennes, à moins qu'une précision verticale très grande ne soit requise. Dans ce cas, il y aurait peut-être lieu de recourir à des photographies aériennes là

où la précision et le relief le requièrent et à utiliser des images SPOT ailleurs. Ces images auraient l'avantage de pouvoir être prises en même temps que des images multibandes, permettant du même coup d'améliorer l'échantillonnage spatial de ces dernières images (Tom et Carlotto, 1985).

5.1.6 Représentation tridimensionnelle de la vallée et du réservoir

La banque de données numériques, dont la précision spatiale originale sera de 10 m, créée en 5.1.5 permet d'obtenir des représentations tridimensionnelles de la vallée et du réservoir sous divers angles de vue. Il existe déjà beaucoup de logiciels capables de tracer des isovaleurs en 3-D. Selon que des vues globales de l'ensemble de la vallée ou de parties de celle-ci seront désirées, il sera possible de partir de valeurs intégrées sur des dimensions plus ou moins importantes, de façon à réduire le nombre de données à traiter à un volume raisonnable.

Par ailleurs, la disponibilité d'images SPOT multibandes prises par exemple lors de l'une des prises de vue stéréoscopiques, ou encore d'images TM et même MSS, combinée avec le modèle numérique de terrain créé en 5.1.5, peut permettre d'obtenir des vues tridimensionnelles de la vallée beaucoup plus "parlantes" que des courbes de niveau. En particulier, si les bandes 1, 2 et 3 du capteur TM sont utilisées, l'image tridimensionnelle reproduite apparaîtra en couleurs réelles. Les logiciels existants permettent même d'ajouter des effets d'ensoleillement.

5.1.7 Carte structurale

Il existe déjà au moins une étude réalisée en Chine pour élaborer une carte structurale à l'aide de la télédétection. Cette étude est basée sur des données MSS. Une nouvelle étude basée sur des

données TM ou SPOT pourrait confirmer et même préciser et au besoin, corriger les résultats obtenus avec des images de plus faible résolution spatiale. De plus, la bande TM7 a été retenue pour des applications géologiques en particulier et offre la possibilité de différencier divers types de roches. Des images prises en saison humide, juste après les pluies, conviendraient particulièrement pour ce type d'étude (tableaux 5.1 ou 5.2 complétés). Après accentuation de l'image pour mettre davantage en relief les caractéristiques géologiques, les failles par exemple, l'analyse pourrait être réalisée en collaboration étroite avec des spécialistes chinois.

5.1.8 Zones sensibles

Certaines zones sont plus sensibles que d'autres à l'action de l'eau. Ainsi, les berges des cours d'eau, si elles ne sont pas suffisamment protégées par des mesures adéquates peuvent être le siège d'érosion intense, particulièrement en période de crue et de régime turbulent. D'autres zones, au contraire, favorisent la déposition et l'accumulation des matières transportées par les eaux. Il importe de mieux répertorier et situer le plus grand nombre possible de ces zones dont les dimensions ne sont pas nécessairement très grandes.

Compte tenu de ces dernières remarques, si des images SPOT panchromatiques servent à réaliser les objectifs de la section 5.1.5, on devrait recourir à ces images de préférence afin de pouvoir jouir de l'effet de stéréoscopie pour l'analyse. Des images SPOT panchromatiques (sans couple stéréoscopique) seraient le second choix. Comme ces images ne sont pas nécessaires (quoiqu'elles pourraient être utiles pour les autres sections), il y a lieu de se demander si l'atteinte de cet objectif et son importance, demandent d'avoir recours à ces images. Enfin, on pourrait utiliser les images TM ou SPOT multibandes obtenues pour les sections précédentes, en dehors des périodes de crues des eaux.

5.2 ZONE DE YICHANG À SHANGHAI

Des analyses similaires à celle de la zone du réservoir devraient être réalisées de Yichang à Shanghai, en tenant compte, naturellement, des caractéristiques particulières de cette zone.

On devrait donc étudier:

- la qualité des eaux;
- les zones inondables;
- l'évolution des lacs;
- l'occupation du territoire;
- les zones sensibles.

5.2.1 Qualité des eaux

Les paramètres de qualité des eaux retenus sont essentiellement les mêmes qu'en 5.1.2. Aussi, nous ne reviendrons pas sur ce que la télédétection peut fournir, pour nous attacher davantage à la disponibilité des données.

Donc, trois paramètres devraient être étudiés en période de hautes eaux et en périodes de basses eaux: la température, la couleur et les sédiments. Lors de ces études, une attention particulière devrait être portée aux lacs Dongting et Poyang, ainsi qu'au confluent entre le Ham Shui et le Yangtze. Une analyse par tronçon permettra de mieux circonscrire et décrire les phénomènes. Les tronçons suivants sont proposés:

- de Yichang à la sortie du lac Dongting;
- de la sortie du lac Dongting à Wuhan, en aval du confluent entre le Ham Shui et le Yangtze;
- de Wuhan à la sortie du lac Poyang;

- de la sortie du lac Poyang à Datong;
- de Datong à Shanghai.

Les figures 5.4, 5.5 et 5.6 permettent de situer chacun de ces tronçons par rapport aux centres de scènes des images TM, SPOT et MSS.

5.2.1.1 Température

Seul le capteur TM permet de fournir une cartographie de la température à la surface des plans d'eau. Toutefois, les images disponibles, suivant la liste dont nous disposons, ne couvrent pas tout le territoire (tableau 5.5). En effet, à l'est de Datong (trajectoire 121), jusqu'à six images sont disponibles par centre de scène, alors qu'à l'ouest, aucune image n'est disponible en hiver et en été pour les trajectoires 123 et 124, c'est-à-dire de Yichang à Wuhan. Quelques images sont disponibles sur les trajectoires 121 et 122, soit de Wuhan à Datong. Le lac Poyang, en particulier, est couvert à la fin de l'hiver et en été.

Il y aura donc lieu de compléter cette liste avant d'entreprendre une étude de l'ensemble de cette zone.

5.2.1.2 Couleur

Tel que précisé en 5.1.2.2, la couleur peut être obtenue des bandes des capteurs TM ou SPOT, dans le visible. Il serait aussi possible d'utiliser certaines bandes MSS. Si l'on s'en tient aux données TM et SPOT, les listes d'images disponibles apparaissent aux tableaux 5.5 et 5.6. Les mêmes remarques qu'en 5.2.1.1 s'appliquent pour la distribution spatiale des images TM. Quelques images SPOT existent en hiver, en particulier au confluent du Han Shui et du Yangtze, à l'est de Yichang près du lac Dongting. Aucune image ne

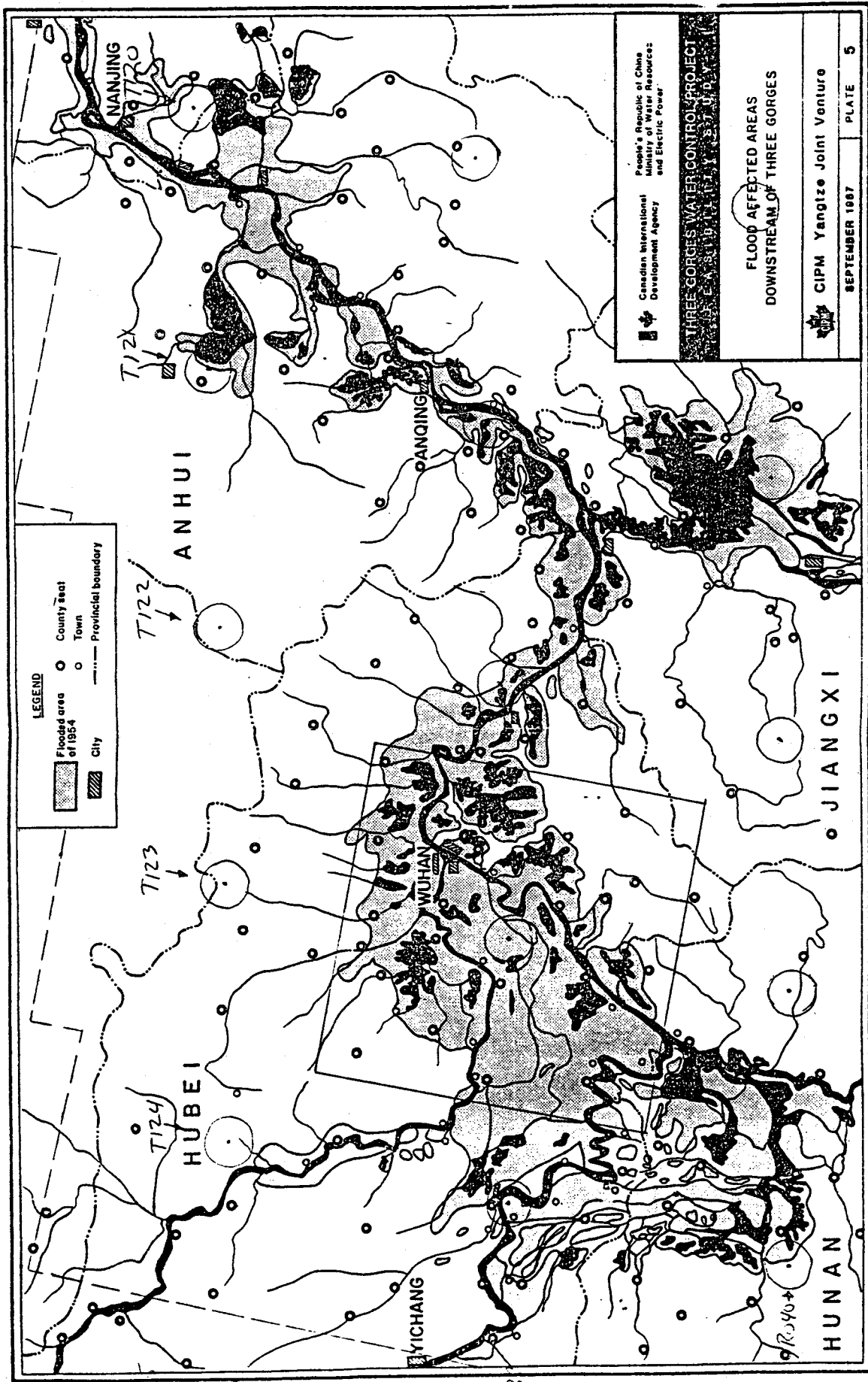


Figure 5.4 IMAGES 14 ET 15 DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5 DE YICHANG A NANJING

1271 / 1276 1277 / 1278 1279 / 1280 1281 / 1282 1283 / 1284 1285 / 1286 1287 / 1288 1289 / 1290 1291 / 1292 1293 / 1294 1295 / 1296 1297 / 1298 1299 / 1300 1301 / 1302 1303 / 1304 1305 / 1306 1307 / 1308 1309 / 1310 1311 / 1312 1313 / 1314 1315 / 1316 1317 / 1318 1319 / 1320 1321 / 1322 1323 / 1324 1325 / 1326 1327 / 1328 1329 / 1330 1331 / 1332 1333 / 1334 1335 / 1336 1337 / 1338 1339 / 1340 1341 / 1342 1343 / 1344 1345 / 1346 1347 / 1348 1349 / 1350 1351 / 1352 1353 / 1354 1355 / 1356 1357 / 1358 1359 / 1360 1361 / 1362 1363 / 1364 1365 / 1366 1367 / 1368 1369 / 1370 1371 / 1372 1373 / 1374 1375 / 1376 1377 / 1378 1379 / 1380 1381 / 1382 1383 / 1384 1385 / 1386 1387 / 1388 1389 / 1390 1391 / 1392 1393 / 1394 1395 / 1396 1397 / 1398 1399 / 1400 1401 / 1402 1403 / 1404 1405 / 1406 1407 / 1408 1409 / 1410 1411 / 1412 1413 / 1414 1415 / 1416 1417 / 1418 1419 / 1420 1421 / 1422 1423 / 1424 1425 / 1426 1427 / 1428 1429 / 1430 1431 / 1432 1433 / 1434 1435 / 1436 1437 / 1438 1439 / 1440 1441 / 1442 1443 / 1444 1445 / 1446 1447 / 1448 1449 / 1450 1451 / 1452 1453 / 1454 1455 / 1456 1457 / 1458 1459 / 1460 1461 / 1462 1463 / 1464 1465 / 1466 1467 / 1468 1469 / 1470 1471 / 1472 1473 / 1474 1475 / 1476 1477 / 1478 1479 / 1480 1481 / 1482 1483 / 1484 1485 / 1486 1487 / 1488 1489 / 1490 1491 / 1492 1493 / 1494 1495 / 1496 1497 / 1498 1499 / 1500

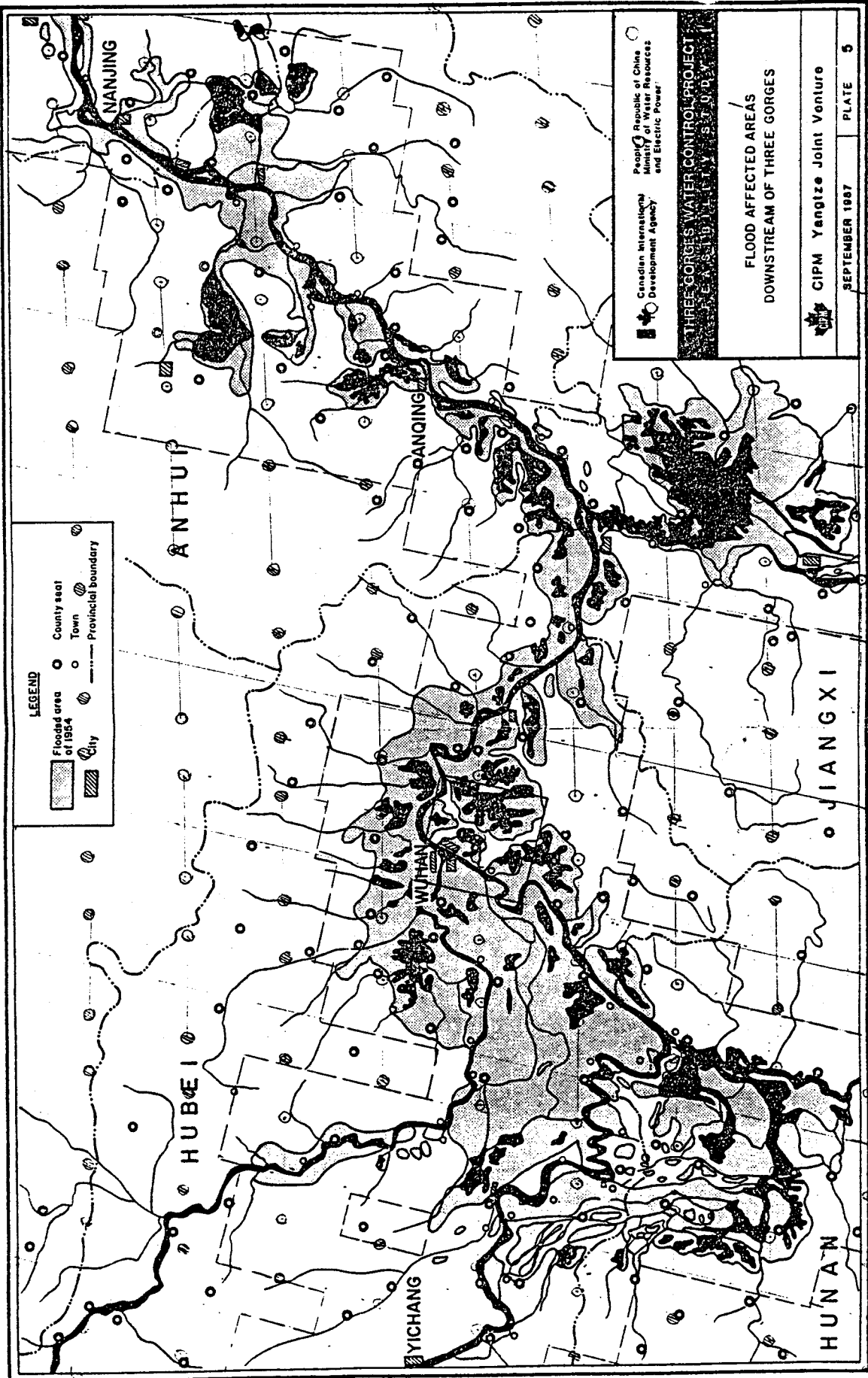


Figure 5.5 IMAGES HRV DU SATELLITE SPOT DE YICHANG A NANJING

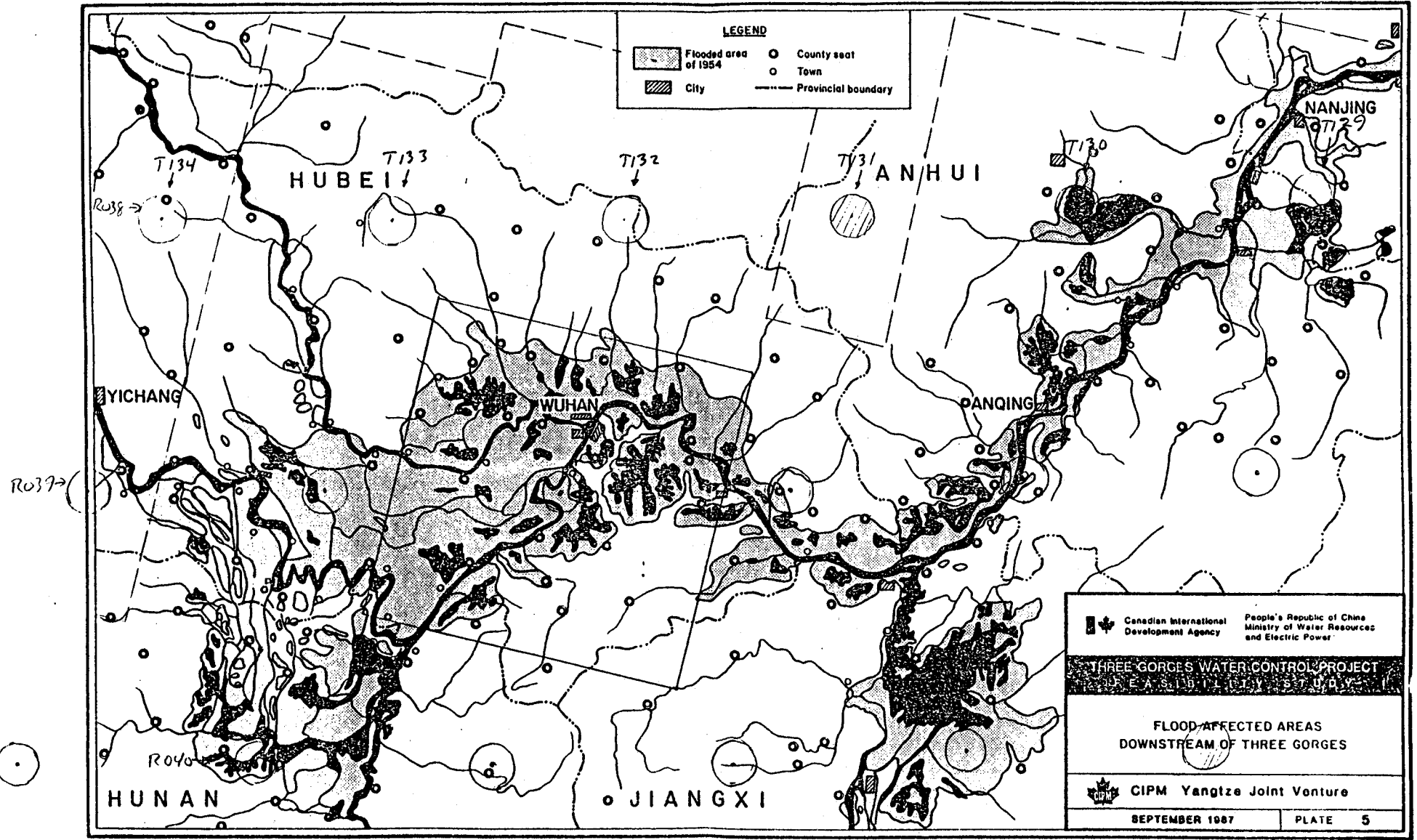


Figure 5.6 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 1, 2 ET 3 DE YICHANG A NANJING

Tableau 5.6 IMAGES SPOT DE YICHANG À WUHAN

		K	276	277	278	279	280	281	282	283	284
J											
Hiver 15 déc.- 15 avril	287										
	288	870208XTV 870203XTW 870108XTW				870417XTE 870130PTW		860419PXDW			
	289	870203XTW 870208XTW				870130PTW 870417XTE		870109PTW 870417XTE			
	290							870109PTW 870317XTE 870417XTE			
	291										
	292				861219PTW	861219PTW					
	293				861219PTW	861219PTW					
Été 15 juin- 15 sept.	287										
	288										
	289										
	290										
	291										

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5.6 IMAGES SPOT DE YICHANG À WUHAN (suite)

		K	276	277	278	279	280	281	282	283	284
J.											
Été	292										
15 juin- 15 sept. (suite)	293										
	287										
	288						861203XTW	861102XTW	861203XTE 861102XTW 861012XTE		
Automne	289					860921POW	861203XTW 861006PTE	861102XTW	861203XTE 861102XTW 861012XTE 861006PTE		
15 sept.- 15 déc.	290					860921PXDW	861006PTE		861006PTE		
	291					8609219XDW					
	292					860921PXDW	861002PTW				
	293					860921PXDW					

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

semble disponible en été, hors de la crue des eaux. Les images prises par les deux capteurs, TM et SPOT, ne couvrent donc pas tout le territoire. Il faut espérer que de bonnes images seront prises d'ici le début de l'étude.

5.2.1.3 Solides en suspension

De Yichang à Shanghai, ce sont les sédiments en suspension qui nous apparaissent comme les plus importants. On désire en particulier améliorer la connaissance des phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt des sédiments tout le long du Yangtze. Ainsi, on espère obtenir une estimation des quantités de sédiments qui se déposent dans le lac Dongting en période de crues, observer aussi ce qui se passe dans le lac Poyang et étudier comment se fait le transport dans le fleuve pour différents régimes de débit.

Pour ce faire, il est souhaitable d'obtenir une vue de l'ensemble de la zone à un instant donné, mais aussi d'analyser ce qui s'est passé à différentes dates, en fonction des pluies et des débits.

Les images TM et SPOT disponibles, tableaux 5.5 et 5.6, n'offrent des vues simultanées ou à quelques jours d'intervalle que pour quelques images à la fois et, par surcroît, ne couvrent pas tout le territoire. La résolution spatiale offerte par ces capteurs est toutefois excellente. Il serait donc préférable de pouvoir disposer éventuellement de données TM couvrant tout le territoire en quelques jours. Des images SPOT pourraient alors être utilisées là où un rééchantillonnage à 10 m de données multibandes et à 20 m à l'aide de données panchromatiques, pourrait apporter un complément appréciable d'information. Rappelons que les données acquises par télédétection doivent être étalonnées par des mesures au sol et que les résultats obtenus peuvent très bien s'intégrer à ceux de modèles de transport de sédiments.

Des données MSS, de résolution spatiale plus faible que les données TM et SPOT, sont aussi disponibles. Le tableau 5.7 présente les données MSS les plus récentes, soient celles des satellites LANDSAT 4 et 5. Beaucoup plus de données MSS sont disponibles que de données TM ou SPOT. Ainsi, il est possible d'obtenir 15 images sur les 19 nécessaires pour couvrir tout le territoire, en mars 1986, dont plusieurs aux mêmes dates que celles du tableau 5.3. Seul le centre de scène au-dessus du lac Poyang n'a pas d'image à l'hiver 1986. Des informations sur une partie du lac pourraient toutefois être recueillies à l'aide des centres de scènes voisins. Il est aussi possible de trouver 15 images sur 19 en juillet et août 1985, au cours de la période des pluies. Rappelons toutefois que ces images comportent des nuages et qu'il peut s'avérer nécessaire d'en choisir d'autres, si ces nuages tombent au mauvais endroit. Cette remarque importante s'applique à toutes les images TM, SPOT ou MSS.

Enfin, en complétant la liste d'images MSS du tableau 5.7 par celle du tableau 5.8, c'est-à-dire avec les images prises par les satellites LANDSAT 1, 2 et 3, on peut remonter jusqu'à 1977, 1975 et même 1973 pour certains centres de scènes. Il est alors possible d'obtenir les trois images prises sur une même trajectoire à une date donnée, mais plus difficile d'obtenir une vue relativement simultanée de l'ensemble du territoire.

En résumé, pour l'évaluation de la qualité de l'eau, il est recommandé d'avoir recours à des images TM, ces images permettant d'obtenir de meilleurs résultats que les images MSS, par suite de l'amélioration de la résolution spatiale et du choix des bandes spectrales. La série d'images MSS de mars 1986 pourrait s'avérer par ailleurs un complément intéressant aux images TM, si une pareille synchronisation ne peut être atteinte avec les nouvelles images TM qui pourront être prises au cours de l'hiver 1988. Quant aux images SPOT, elles pourront être utilisées là où une résolution spatiale plus grande peut s'avérer nécessaire.

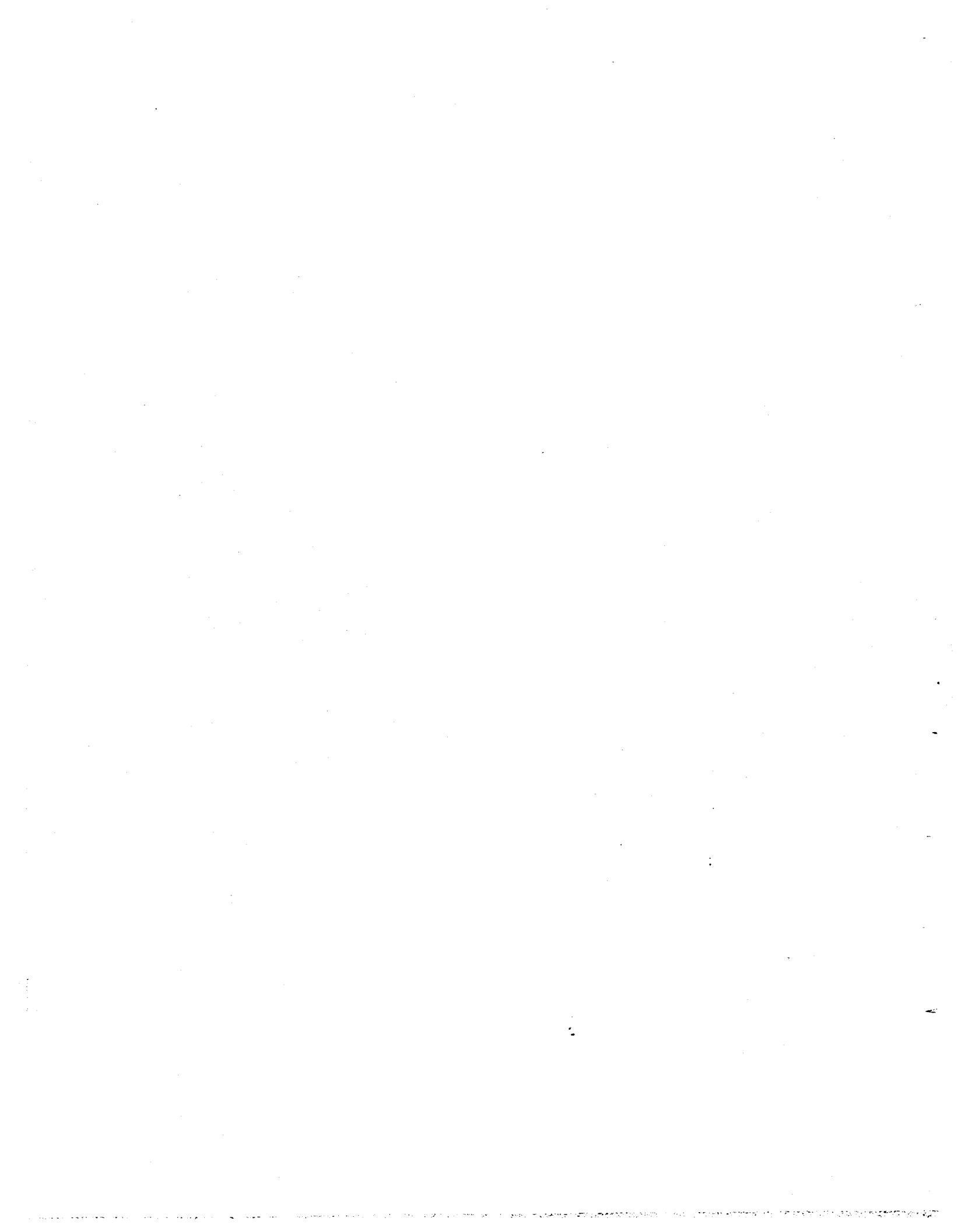


Tableau 5.7 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5
ENTRE YICHANG ET SHANGHAI

TRAJECTOIRE RANGÉE		124	123	122	121	120	119	118	117
Hiver 15 déc.- 15 avril	038	86030651 86021852 86021040 86010942	86030742 86022751 86021941 83031543 83012642	86032450 86012740 85030552 84041950 84031041 84020740 83020440	86030151 85032241 84122450 83012840 83011243	87010850 86122351 86041150 86020652 86012941 86011341 85041640 85040853 85012641 85011040 84122541 84041341 84032841 83122343 83012143 82122040	87011753 87010940 86031951 86030350 86012241 85041753 85011150 83121640 83040443 83011443	86122552 86030440 86012350 86010750 85022153 85021343 84033040 84022741 84011042 83020840 83122240	86012443 85021450 84032340
	039	86030650 86021851 86021040 85042052 85040450	86033150 86030742 86022750 86021940 83031543 83012642	86032450 86012740 86011141 83020440	86030152 85121940 84122452	86012940 85041641 85040851 85032352 85011041 84122541 84041342 84032843 82122040	86122553 86031251 86030440 86022451 86012351 86010750 85021342 84122741 84033040 84022741 84012643 84011040 83020841 82122240	87012743 86012443 85021451 84032341	
	040	86030650 86021040	86011050 85121740	86021240 86012740 84020742	83012841				
Été 15 juin- 15 sept.	038	85080242 85071740	85080351 85071851 83080641	85071941 84071643 83083140	86073143 85080551 85061853 84090351 84081042 84070942 83082442 83070742	85080642 85061943 84090441 84080340 84070243 83080140	86090343 86081843 86072552 85080753 84091342 84082843 84080450 84070353	86081952 86081173 86072641 85090943 84091452 84082953 84081353 83081943 83080340	86081252 85070851 84082251 84080653 83091343 83072740

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5-7 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5
ENTRE YICHANG ET SHANGHAI (suite)

TRAJECTOIRE RANGÉE		124	123	122	121	120	119	118	117
Été 15 juin- 15 sept. (suite)	039	83072841	85071850 85071040 83090743 83080641	85071152 84080143 84071643 83083140	86073142 85082943 85080553 85071243 84081043 84070943 83080841	86072443 85083053 85080642 84082752 84080341 84071052 83080141	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	86081951 86072640 85090941 85080842 85072342 85071552 84091452 83081943 83080340	86081252 84080652 83072740
	040	84090851 84073041 83082943 83072842	85071042 83090741 83080641	85071942 85071152	85071240 84081042 84070942 84062342 83080841	_____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____	_____ _____ _____ _____
Automne 15 sept.- 15 déc.	038	86100842 85111450 85102951	86100140 85120140	85120250 84112951 84110541 83120540 83111941	86110440 86091741 85121940 85112550 85110143 85100851 84113040 84110651 84102941 83112840 83102743 82100841	86119241 86110550 86092643 86091853 85121241 85120453 85111850 84113041 84110713 84103051 84102243 83110542 82110241	86120843 86102952 85121350 85111940 85111150 85100240 84111641 83113041 83111440 82111140 82102641	86103042 86101441 85112050 85111241 84091452 83120940 83110742	86101553 84120443 84102551 83120241 83111641 82101241
	039	86100841 85111450 85102952	86100140	84112951 84110540 83120540	86110440 85121940 85121152 85112550 85110951 85110142 84113041 84110652 84102941 83112840 83102743 83101141 82100841	86092641 85121243 85111850 85110252 84110743 84103051 84102241 83120742 83100442 82110241	_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____	86120141 86103041 86101440 85112050 85111241 84120352 84110942 84091452 83120940 83110741	86121042 86101550 84120443 83120241 83111641 82111343 82101241

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5.7 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 4 ET 5
ENTRE YICHANG ET SHANGHAI (suite)

TRAJECTOIRE RANGÉE		124	123	122	121	120	119	118	117
		Autonne 15 sept.- 15 déc. (suite)	040	85111450	85121740	85120250	86101150 85112550 85111741 84113042 84110651 84102940 83112840 83101140 82100840		

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5.8 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 1, 2 ET 3
DE YICHANG À SHANGHAI (suite)

TRAJECTOIRE RANGÉE		133	132	131	130	129	128	127	126
		039	80062932 79081031 78091121 78090231 78080621 78072831 78071031 78070122 78062231 77070620	81072022 80062831 79061631 78091023 78080521 78063021 77072323	81061323 79082631 79080831 78083131 78081333 78072631 77070421	79080731 78083031 78070731 77082622 77080823	81071721 79080631 790728J2 79061332 78081133 78070631 78062722 77082523 77080722 75060721		81082021 81071521 800825J2 790831J3 79080431 790726J1 78080932 78072231 78070431 77080521
040	81071230 79081033 78091121 78090231 78080621 78072831 78071031 78070121 77072423 77070621	80062831 78080522 77070521	81061323 79082633 79080832 79070332 79061533 78083131 78072632 77080923 77070421	79080731 78081233 78070731 78061933 77082621 77080823 77070323					
038	82111030 80110230 79110831 78101720 78092920 76120221 76111421 76100921 75101522	81121122 79110730 79102031 78101620 78092822 77100321 76120120 76102622 76100823 75110121 73120810		79110530 79102730 79093030 78100533 78091731 77101923 77100122 75103022 7411112	801213J0 80120430 801125J1 801020J0 791008J1 790920J2	81120720 81111921 81111030 81102330 801106J0 78102131 78101221 77101721 76112720 76110921 76100422 75120321 75111521 73111610	81111823 801105J0 800930J3 79110233 791024J0 76112621 76110822 76102121	791023J2	

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

Tableau 5.8 IMAGES MSS DES SATELLITES LANDSAT 1, 2 ET 3
DE YICHANG À SHANGHAI (suite)

TRAJECTOIRE RANGÉE		133	132	131	130	129	128	127	126
		039	82111030 80110230 79110830 78101720 78092920 76120221 76111422 76100921	81092130 79110730 79102031 78101620 78092821 76120123 75110121 73120811	81121020 79110630 79101931 79100131 78100633 75103121	811209J0 80103030 79110533 79093032 78091730 77100121	82121230 811213J0 80120430 801020J1 791008J2 790920J1 78091632 76112822 76100522 76091723		
Automne 15 sept.- 15 déc. (suite)	040	82111030 79110830 78101720 78092920 76120221 73110313	79110730 79102031 78101621 78092823 75110121 73120810	80111830 79110631 79101931 79100133 75103121	811209J0 81092821 78102333 78091731 77110621 77100122 76100620 75103023				

N.B.: Les cases rayées indiquent les centres d'images considérés en dehors de la zone à étudier.

5.2.2 Zones inondables

En aval de Yichang, de vastes zones inondables bordent le fleuve Yangtze et ses principaux tributaires. Dans ces conditions, une des zones inondées en fonction du débit s'avère un outil essentiel. Si l'on possède une excellente connaissance de la topographie des berges et des débits ou niveaux atteints, on peut établir la courbe des zones inondées.

La connaissance que l'on a de la topographie et des zones effectivement inondées pour un débit donné peut par ailleurs être améliorée par télédétection. Il est donc recommandé de faire appel à des images TM, SPOT ou MSS pour définir les zones inondées en fonction du débit. Ces zones sont normalement très facilement identifiables dans le proche infrarouge de suite de l'absorption presque totale du rayonnement solaire. Comme on désire lier ces zones inondées à un débit ou plus précisément au niveau correspondant, chaque centre de scène peut être considéré indépendamment des autres, étant donné les dimensions de la zone d'étude. Idéalement la gamme de niveaux retenus devra être la plus large possible. Dans ces conditions, il faut choisir des images d'abord en fonction du niveau désiré et après en fonction de la résolution spatiale. De 3 à 5 images par scène devraient s'avérer suffisantes pour atteindre les objectifs visés dans cette section.

5.2.3 Évolution des lacs

Comme on l'aura déjà noté en procédant à l'aide des sections 5.2.1 et 5.2.2, les lacs Dongting et Poyang sont le siège de phénomènes hydrodynamiques et sédimentologiques importants. Une analyse plus détaillée de leur évolution depuis le lancement du premier satellite LANDSAT s'impose donc. Plus particulièrement à l'aide d'images prises en périodes de basses eaux, il y a lieu d'observer les changements survenus dans ces lacs: apparition et disparition

possible d'files, variation des berges, zones d'ensablement, etc. Ce type d'analyse peut se faire indistinctement sur des images TM, SPOT ou MSS, en procédant à un affichage des bandes permettant d'accroître les caractéristiques voulues. Des images SPOT ou TM seraient bien sûr préférables, mais elles ne pourront servir qu'à décrire la situation actuelle.

Les tableaux 5.5 à 5.8 permettent de constater que de 4 à 5 images sont disponibles pour chacun des lacs. L'image la plus récente du lac Dongting en période de basses eaux est une image MSS prise le 10 janvier 1986; par ailleurs, une image TM prise le 21 avril 1987 couvre le lac Poyang. Comme le choix d'images n'est pas tellement vaste, il y aura lieu d'interpréter les résultats obtenus en fonction du niveau des lacs. Au besoin, des images des centres de scènes voisins pourraient compléter les informations souhaitées.

5.2.4 Occupation du territoire

Essentiellement la même approche qu'à la section 5.1.4 est recommandée pour la cartographie de l'occupation du territoire, en aval de Yichang, en insistant sur les zones inondables. Les classes retenues sont les mêmes qu'en 5.1.4, c'est-à-dire: forêts, zones agricoles, zones urbaines, zones industrielles et plans d'eau. Encore une fois, on aura recours à des images prises dans des saisons différentes afin de mieux préciser les variations saisonnières d'occupation dans les zones agricoles particulièrement, par suite de la rotation des cultures. Rappelons que si des sous-classes précises sont désirées, il faudra avoir recours à des données de contrôle sur le terrain.

Comme précédemment, la connaissance de l'évolution de l'occupation du territoire depuis la mise en orbite du premier satellite LANDSAT peut apporter des informations extrêmement utiles pour la planification de l'occupation future de ce territoire.

Les images susceptibles d'être utilisées apparaissent aux tableaux 5.5 à 5.8. Ces tableaux ont été commentés dans les sections précédentes, sauf peut-être en ce qui a trait à l'automne. En parcourant les tableaux, on constate effectivement que les remarques faites sur les deux autres saisons s'appliquent aussi à l'automne. En particulier, il sera nécessaire de compter sur l'acquisition de données TM à l'automne 1987 pour couvrir tout le territoire. Rappelons aussi l'importance d'obtenir des images sans nuages sur les parties de l'image que l'on désire analyser. Autrement, il est nécessaire de recourir à plus d'une image.

Nous recommandons donc une cartographie de l'occupation récente du territoire à l'aide d'images TM, complétée au besoin par des images SPOT là où une augmentation de la résolution spatiale serait nécessaire. Les images MSS disponibles permettent de procéder à une classification de l'occupation du territoire depuis 10 ans.

5.2.5 Zones sensibles

Encore ici, la problématique et l'approche recommandées sont similaires à celles de la section 5.1.8. L'étude des zones sensibles (érosion ou dépôt) étant complémentaires d'une certaine façon des études portant sur les sédiments en suspension (5.2.1.3) et l'évolution des lacs Dongting et Poyang (5.2.3), on reprendra en outre la subdivision du fleuve Yangtze selon les tronçons identifiés en 5.2.1.

Comme pour les sections 5.1.8 et 5.2.3, des images TM ou SPOT sont préférables pour procéder à l'étude des zones sensibles, si l'on désire identifier les zones de faibles dimensions. Toutefois, comme des images SPOT panchromatiques ne sont pas prévues en aval de Yichang, il est recommandé d'utiliser des images TM ou des images SPOT acquises pour répondre aux autres objectifs de l'étude.

Si toutefois l'analyse de ces images permettait d'identifier un phénomène local important qui requerrait une meilleure précision, il faudrait alors envisager l'acquisition et le traitement d'images panchromatiques SPOT avec la stéréoscopie éventuellement.

Il faudra donc compléter les images TM du tableau 5.5 en période d'étiage. Si la chose était impossible, on pourrait alors se tourner vers la série d'images MSS de mars 1986 (tableau 5.7) pour effectuer au moins une analyse des zones susceptibles d'être détectées avec ces données.

5.3 ESTUAIRE ET MER DE CHINE

L'estuaire du Yangtze et la mer de Chine, la partie la plus rapprochée de la côte, constituent la troisième zone distincte d'analyse. On recommande d'y étudier:

- l'évolution de l'estuaire et du delta;
- la qualité des eaux (sédiments en suspension, panache estuarien, courants);
- les zones sensibles;
- le coin salin.

5.3.1 Évolution de l'estuaire et du delta

Idéalement, il conviendrait de choisir des événements, le passage d'un typhon par exemple, et d'analyser son effet à l'aide d'images prises avant et après l'événement. Comme on le sait maintenant, la disponibilité des images oblige à procéder à l'inverse. Il existe toutefois plus de 50 images TM ou MSS centrées approximativement sur Shanghai et permettent d'étudier ce phénomène, dont certaines à quelques semaines d'intervalle (tableaux 5.5, 5.7 et 5.8).

On recommande par conséquent d'analyser tout d'abord les données au sol correspondant à chacune des images disponibles de manière à tenter de relier ces images à des conditions hydrologiques (sédiments en suspension, débit de crues et d'étiage, circulation de surface, haute marée, etc.) et météorologiques (tempêtes, etc.) particulières, en essayant de se rapprocher de l'approche idéale esquissée plus haut. La phase suivante consiste à retenir les cas les plus caractéristiques et les images qui leur sont associées, possiblement deux par cas.

Une sélection adéquate de dix de ces cas devrait permettre de mieux comprendre dans quelle mesure le milieu physique de l'estuaire et le delta sont modifiés par les phénomènes hydrologiques et météorologiques qui s'y produisent. Ici aussi, dans le cas de phénomènes qui se seraient passés depuis la mise sur orbite du satellite SPOT, des images de ce satellite pourraient assurer un complément d'information fort utile en certains points de l'estuaire et du delta. Les images TM et MSS mentionnées plus haut correspondent aux trajectoires 118 et 127 respectivement pour les satellites LANDSAT 4 et 5 et pour les satellites LANDSAT 1, 2 et 3. La rangée est la même pour tous ces satellites soit 038. Les tableaux 5.5, 5.7 et 5.8 contiennent aussi des images pour les centres de scènes voisins à l'est et au sud. On pourrait donc choisir d'utiliser ces images si une étude détaillée de toute cette zone s'avérait nécessaire. Nous suggérons plutôt de ne retenir que les images TM ou MSS centrées approximativement sur Shanghai (au moins deux images TM en des saisons différentes devraient être choisies) et d'analyser la partie désirée de la mer de Chine à l'aide d'images NOAA prises le même jour que les images TM ou MSS choisies. Cette approche permettra d'analyser les phénomènes désirés sur l'ensemble de la mer de Chine au besoin, tout en concentrant l'analyse sur l'estuaire à l'aide de données de haute résolution spatiale.

Notons que les données d'autres capteurs satellitaires pourraient aussi être utilisées pour certaines dates (HCMM, CZCS, SEASAT).

Leur disponibilité n'est toutefois pas aussi grande que celles des satellites NOAA. Les données HCMM et SEASAT ne couvrent que quelques mois, par suite de la durée de vie très courte de ces satellites.

Enfin, comme pour les analyses similaires précédentes, de façon à faciliter l'interprétation des images, on les accentuera en insistant sur les parties de ces images couvertes d'eau.

5.3.2 Qualité des eaux

Encore une fois, la température et la couleur de l'eau, ainsi que les sédiments en suspension, sont choisis pour caractériser la qualité des eaux, en période de crues et d'étiage sur le Yangtze. Il s'agit en fait de caractériser les eaux du panache d'eau douce qui pénètrent dans la mer de Chine et d'y décrire les courants de surface.

5.3.2.1 Température

Le capteur TM permet d'obtenir une cartographie détaillée de la température à la surface de l'eau dans l'estuaire et cette cartographie peut être étendue à la mer de Chine à l'aide de données NOAA prises le même jour. Le tableau 5.5 indique que des images TM sont déjà disponibles pour ce faire. Il serait souhaitable que des images TM déjà retenues en 5.3.1 soient utilisées ici, de manière à mieux cerner divers aspects liés à un même phénomène, et cela en période de crues et en étiage sur le Yangtze.

5.3.2.2 Couleur

La détermination de la couleur ne demande pas d'avoir recours à des données TM. Toutefois les bandes spectrales TM sont plus adéquates

pour ce faire que les bandes MSS. La détermination de la couleur aidant à caractériser le panache d'eau douce devrait se faire pour les images TM, MSS et NOAA retenues en 5.3.1, en espérant que des données en mer puissent aider à étalonner les images.

5.3.2.3 Solides en suspension

Comme en 5.3.2.2, l'estimation des solides en suspension devrait se faire pour chacune des images TM, MSS et NOAA retenues en 5.3.1, à l'aide de données de contrôle recueillies en mer.

L'estimation des concentrations en sédiments en suspension, ajoutée à celles de la couleur et de la température de l'eau (grâce aux données TM et NOAA uniquement) pour l'ensemble des cas étudiés devrait permettre de mieux décrire comment le panache d'eau douce évolue en fonction des phénomènes hydrologiques et météorologiques qui se produisent dans l'estuaire du Yangtze et la mer de Chine.

5.3.3 Zones sensibles

Il s'agit ici, à l'aide des mêmes images qu'en 5.3.1 d'effectuer, dans les faits, une analyse simultanée en déterminant où sont déposés les sédiments charriés par le Yangtze d'une part et en vérifiant quelles parties de la côte pourraient être le siège d'une érosion importante et quelles parties recevraient des sédiments. Il est donc clair que cette étude va de pair avec celle sur le transport des sédiments.

5.3.4 Coin salin

On désire déterminer la position du coin salin pour différentes conditions hydrologiques et météorologiques.

La salinité n'est pas facile à mesurer directement par télédétection. En pratique, il faudrait recourir à des capteurs passifs opérant dans les micro-ondes, mais leur résolution spatiale, 25 - 30 km, n'est pas suffisante. Il est toutefois possible d'obtenir une estimation de la salinité si cette dernière est reliée à d'autres paramètres (solides en suspension, température (Rimmer et al., 1987)).

Nous proposons donc de déterminer tout d'abord les relations qui pourraient exister dans la zone d'étude, entre la salinité et les paramètres de qualité des eaux précédemment étudiés en 5.3.2. Ces relations, si elles existent, pourront ensuite être appliquées aux données des images TM, MSS et NOAA utilisées dans la section 5.3 afin de cartographier la salinité des eaux étudiées et déterminer ainsi la position du coin salin.

6. TRAITEMENT INFORMATISÉ DES DONNÉES

6.1 TRAITEMENT DES DONNÉES ACQUISES PAR TÉLÉDÉTECTION

Divers types de traitement des images acquises par télédétection ont déjà été mentionnées dans la section 5. L'immensité du territoire à couvrir, l'intérêt de suivre l'évolution d'un phénomène donné en ayant recours à des images prises à plusieurs dates pour une scène donnée et les besoins cartographiques imposent, par ailleurs, la nécessité de procéder à d'autres traitements de ces images.

Tout d'abord, les images doivent être corrigées géométriquement de manière à les rendre superposables entre elles et à les présenter dans un système de projection compatible avec d'autres données.

Elles doivent aussi, dans la mesure du possible, être traitées pour éliminer les effets atmosphériques. La vapeur d'eau et les divers aérosols atmosphériques peuvent en effet diminuer grandement les contrastes réels entre les divers types de surface, dans une image donnée. Comme ces effets varient de jour en jour, il vaut mieux les corriger pour ramener les images le plus possible à des conditions de prise de vue similaires et par suite faciliter leur interprétation ultérieure.

Tous ces traitements peuvent et devront être effectués à l'aide d'un système de traitement d'images acquises par télédétection. Compte tenu de la quantité d'informations à traiter, il est normalement préférable de faire appel à des mini-ordinateurs de la catégorie du VAX 11/780 (ou à des ordinateurs plus puissants) dotés de processeurs vectoriels. Toutefois, les principales compagnies oeuvrant dans ce domaine se tournent progressivement vers des stations de travail autonomes de type micro-VAX-II, SUN ou APOLLO, dont les coûts d'achat et d'entretien sont beaucoup moins élevés et qui, dans certaines conditions, peuvent fournir des performances aussi bonnes

que les ordinateurs multi-usagers plus puissants. Enfin, certains logiciels; le logiciel EASY-PACE de la compagnie canadienne PCI, par exemple, peuvent être implantés tant sur des VAX 11/780 que sur des micro-ordinateurs. Dans tous les cas, il est nécessaire de disposer de dérouleurs de bandes permettant de lire les données et de disques durs de grande capacité. Les sous-systèmes de traitement et d'affichage de données spécifiques à chaque système de traitement d'images sont spécifiés par la compagnie.

La présentation des résultats (section 7) requerra d'autres moyens informatiques spécialisés, tels un système Intergraph (ou l'équivalent) pour la préparation des cartes et un système Imapro (ou l'équivalent) pour la production de photographies. Des imprimantes à jet d'encre en couleurs pourront aussi être utilisées.

6.2 CONCEPTION, RÉALISATION ET UTILISATION D'UNE BANQUE DE DONNÉES STRUCTURÉE SELON UN SYSTÈME D'INFORMATION À RÉFÉRENCE SPATIALE

Déjà à la section 5, il a été mentionné que des données au sol étaient nécessaires afin d'étalonner les images en vue d'une estimation quantitative de certains paramètres environnementaux. Par ailleurs, on a précisé à la section 4 que les données acquises par télédétection devaient être considérées comme complémentaires des autres types de données ponctuelles ou spatiales.

De manière à faciliter l'établissement de relations entre les divers types de données, il est très souhaitable, sinon nécessaire, de concevoir une banque de données structurée de façon à faciliter l'établissement de ces relations. Dans cette optique, certains résultats obtenus en 5 pourraient être intégrés spatialement suivant un maillage de dimensions à déterminer. À titre d'exemple, les informations sur l'utilisation du territoire pourraient être présentées sous forme de pourcentage en superficie occupée par une classe donnée pour une maille de 10 km x 10 km.

La conception et la préparation de la banque de données devraient être réalisées conjointement avec les Chinois. Cette conception devrait être assez souple afin de s'adapter facilement à des modifications et à la préparation de sous-banques.

Cette banque doit être souple spatialement. On doit pouvoir définir des cadres géographiques particuliers à l'intérieur d'un système de référence unique pour l'ensemble de la banque. De plus, à l'intérieur de ces cadres géographiques, la discrétisation spatiale devrait pouvoir varier.

Cette banque doit être souple au niveau des variables. En d'autres termes, l'addition (ou le retrait) de nouvelles variables ponctuelles ou spatiales devrait se faire sans affecter les autres variables.

Cette souplesse doit aussi permettre la constitution de sous-banques en sélectionnant un cadre géométrique, des variables et une discrétisation spatiale. Les analyses des relations entre diverses variables au niveau régional et l'intégration de ces variables en seront facilitées d'autant, de même que leur présentation sous forme de graphiques, de photographies ou de cartes.

Cette banque pourrait être conçue autour d'un des systèmes de base de données proposées commercialement et gérée par un logiciel servant d'interface à l'utilisation pour l'accès à la base de données et aux moyens informatisés de présentation des résultats.

7. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

7.1 APPROCHE SECTORIELLE ET RÉGIONALE

L'approche préconisée en 5 pour le traitement des données acquises par télédétection et en 6, pour la constitution d'une banque de données, permet de présenter les résultats selon une approche sectorielle et régionale, tout en allouant l'intégration des informations fournies par plusieurs variables. Cette approche a l'avantage de conduire à des documents dont la résolution spatiale sera fonction de l'objectif, documents qui porteront sur des images accentuées ou thématiques ou sur la représentation spatiale ou temporelle de données d'autres types.

7.2 POST-TRAITEMENT ET AFFICHAGE D'IMAGES ET DE CARTES SUR ÉCRAN

Les documents obtenus dans les étapes précédentes demandent encore d'être édités afin de compléter leur présentation et de faciliter leur interprétation. On pense à des titres, des légendes, des échelles, des grilles géographiques, des contours politiques ou physiques, ou tout autre ajout.

Cette édition devra pouvoir se faire de manière interactive soit sur le système de traitement d'image lors de la réalisation des travaux prévus à la section 5, soit ultérieurement sur des systèmes de visualisation plus ou moins sophistiqués, mais répondant aux exigences de l'édition. On pourra prévoir ainsi la présentation des documents sur des micro-ordinateurs plus facilement disponibles que des mini-ordinateurs, mais assez puissants pour permettre l'accès à des banques de données sectorielles et régionales et la visualisation des documents.

L'accès à des données autres que les images acquises par télédétection peut permettre en particulier d'obtenir des vues tridimensionnelles du paysage, en faisant appel à un modèle numérique de terrain, tel que précisé en 5.1.6.

7.3

PRODUCTION SUR PAPIER D'IMAGES, DE CARTES ET DE GRAPHIQUES

Tous les documents présentés sur écran devront pouvoir être produits sur papier (par photographie, imprimante à jet d'encre ou traceur) ou diapositive (section 6.1). Il s'agit alors d'utiliser le médium et la technique la plus susceptible de répondre aux objectifs de qualité lors de la production de ces documents.

8. ÉVALUATION DES COÛTS

L'évaluation des coûts associés aux tâches décrites dans les sections précédentes apparaît au tableau 8.2. Cette évaluation a été préparée à partir du tableau 8.1 en attribuant une durée de réalisation par tâche et par image traitée. Il est à noter que la réalisation de chacune de ces tâches demandera de nombreuses heures de traitement d'image proprement dit, ce qui se traduira par des coûts d'informatique relativement élevés.

Les coûts des images varient aussi suivant l'agence de distribution. Ainsi, selon les renseignements dont nous disposons, les images TM achetées au Japon coûteraient environ 4 200 \$, alors qu'elles en coûteraient 5 700 \$ si la compagnie EOSAT agissait comme agent pour les images captées par la station de réception chinoise. Des prix moyens basés sur une estimation de la proportion d'images captées en Chine et au Japon ont par conséquent été utilisés.

Il est à noter aussi que l'utilisation d'images SPOT pour la préparation d'un modèle numérique de terrain et de cartes topographiques n'est pas incluse dans les coûts du tableau 8.1. Les sommes nécessaires pour la réalisation de cette option sont cependant indiquées au bas de ce tableau.

Un budget total de 5 810 530 \$ sera requis pour réaliser l'étude décrite dans ce rapport. Par ailleurs, les subdivisions sectorielles et géographiques adoptées permettent de lui ajouter ou de lui retrancher des éléments lorsque la décision effective de la réaliser sera prise.

Il faudra prévoir un budget de 15 000 \$ à 20 000 \$ pour la préparation du cahier de charges spécifiant chacune des tâches à réaliser.

Rappelons enfin, que nous avons conçu cette étude de manière à ce que l'analyse des différents paramètres visant à mieux connaître ce

Tableau 0.1. IMAGES REQUISES POUR LA RÉALISATION DE L'ÉTUDE

RÉGION	PARAMÈTRES	NOMBRE D'IMAGES PAR OBSERVATION POUR LE TRONÇON						SAISONS Hiver (H) Été (E) Automne (A)	NOMBRE DE DATES POUR SCÈNE POUR LE SUIVI TEMPORÉL DE CERTAINS PARAMÈTRES	NOMBRE TOTAL D'IMAGES REQUIRANT UN TRAITEMENT UN PARTICULIER	GROUPE D'IMAGES N°	NOMBRE TOTAL D'IMAGES À COMMANDER	
		SATELLITES ET CAPTEURS CONSIDÉRÉS COMME PREMIER CHOIX POUR UNE ANALYSE DONNÉE											
		LANDSAT 4 et 5 (185 km x 185 km)		LANDSAT 1, 2 et 3 (185 km x 185 km)		SPOT (60 km x 60 km)							NOAA
		TM-4 IR ⁴ ther- mique 120 m	TM 1, 2, 3, 4, 5, 7 visible + IR ⁴	MSS 57 m x 79 m	MSS 57 m x 79 m	Mode multi- spectral 20 m	Mode panchro- matique						AVHRR 1 100 m
Chongqing - Yichang	5.1.1 Sources de pollution - Ensemble de tronçon - Chongqing - Hannan		8			1 1			H + E H + E H + E	16 2 2	1 3	16 2 2	
	5.1.2 Qualité des eaux								H + E	16	1	-	
	5.1.2.1 Température	8							H + E	16	1	-	
	5.1.2.2 Couleur		8						H + E	16	1	-	
	5.1.2.3 Sédiments en suspension			8	8				H + E H + E	16 16	4 5	16 16	
	5.1.3 Écoulements		8			2			H + E H + E	16 4	1 2 + 3	-	
	5.1.4 Occupation du territoire		4			8			H + E + A H + E + A	20 20	1 + 4 5 + 7	8 8	
	5.1.5 Carte topographique					20	40		H ou A	60	8 + 9	60	
	5.1.6 Représentation tridimensionnelle					20	40		H ou A	60	8 + 9	-	
	5.1.7 Carte structurelle		8						E	8	1	-	
5.1.8 Zones sensibles						40		H ou A	40	9	-		
Yichang - Shanghai	5.2.1 Qualité des eaux								H + E	32	10	32	
	5.2.1.1 Température	16							H + E	32	10	-	
	5.2.1.2 Couleur		16						H + E	32	10	-	
	5.2.1.3 Sédiments en suspension			16	15				H + E H + E	32 30	11 12	32 30	
	5.2.2 Zones sensibles	19	16	16	15				H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A	32 16 15	10 + 13 11 + 10 12 + 15	16 16 15	
	5.2.3 Évolution des lacs		2	2	2				H ou A H ou A H ou A	2 2 2	10 + 13 10 + 14 12 + 15	- - -	
	5.2.4 Occupation du territoire		16		15				H + E + A H + E + A	40 45	10 + 13 12 + 15	- -	
	5.2.5 Zones sensibles		16						H ou A	16	10 + 13	-	
	Estuaire - mer de Chine	5.3.1 Évolution de l'estuaire et de delta		8	8	8				H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A	4 4 4 12	8 8 8 12	10 + 16 11 + 17 12 + 18 19
		5.3.2 Qualité des eaux								H ou C ou A	4	4	10 + 16
5.3.2.1 Température		8							H ou C ou A	12	12	19	
5.3.2.2 Couleur			8	8	8				H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A	4 4 4	8 8 8	10 + 16 11 + 17 12 + 18	
5.3.2.3 Sédiments en suspension			8	8	8				H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A	12 4 4 4	12 8 8 8	12 + 18 19 10 + 16 11 + 17 12 + 18	
5.3.3 Zones sensibles			8	8	8				H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A	4 4 4	8 8 8	10 + 16 11 + 17 12 + 18	
5.3.4 Coin marin			8	8	8				H ou C ou A H ou C ou A H ou C ou A	4 4 4	8 8 8	10 + 16 11 + 17 12 + 18	
									H ou C ou A	4	4	10 + 16	
									H ou C ou A	4	4	11 + 17	
									H ou C ou A	4	4	12 + 18	

Identification des groupes

- | | | |
|---|------------------|--|
| 1- Images TM d'hiver et d'été | • 8 x 2 = 16 | 11- Images MSS d'hiver et d'été de LANDSAT 4 et 5 |
| 2- Images SPOT d'hiver et d'été | • 1 x 2 = 2 | 12- Images MSS d'hiver et d'été de LANDSAT 1, 2 et 3 |
| 3- Images SPOT d'hiver et d'été | • 1 x 2 = 2 | 13- Images TM d'automne |
| 4- Images MSS de LANDSAT 4 et 5 | • 8 x 2 = 16 | 14- Images MSS d'automne de LANDSAT 4 et 5 |
| 5- Images MSS d'hiver et d'été de LANDSAT 1, 2 et 3 | • 8 x 2 x 1 = 16 | 15- Images MSS d'automne de LANDSAT 1, 2 et 3 |
| 6- Images TM d'automne | • 8 x 1 = 8 | 16- Images TM de la trajectoire 117 |
| 7- Images MSS d'automne de LANDSAT 1 | • 8 x 1 = 8 | 17- Images MSS de la trajectoire 117 (LANDSAT 4 et 5) |
| 8- Images SPOT multibande | • 20 | 18- Images MSS de la trajectoire 126 (LANDSAT 1, 2 et 3) |
| 9- Images SPOT panchromatique 4 | | 19- Images NOAA |
| 10- Images TM d'hiver et d'été | • 16 x 2 = 32 | |

*2R pour le Groupe

Tableau 8.2 ÉVALUATION DES COÛTS

	HONORAIRES \$	IMAGES ET FOURNITURES \$	INFORMA- TIQUE \$	TOTAL \$
1. SÉLECTION DES IMAGES EN FONCTION DES ANALYSES ET DES DONNÉES	15 000			15 000
2. TRONÇON CHONGQING - YICHANG				
2.1 Pré-traitement des images	190 400	181 600	65 200	437 200
2.2 Analyses				
2.2.1 sources de pollution	70 000		24 000	94 000
2.2.2 Qualité des eaux	280 000		96 000	376 000
2.2.3 Écoulements	70 000		24 000	94 000
2.2.4 Occupation du sol	252 000		86 400	338 400
2.2.5 Carte topographique (MNT) ¹	15 000 ¹	1 500 ¹		16 500
2.2.6 Représentation tridimensionnelle	14 000		4 800	18 800
2.2.7 Carte structurale	28 000		9 600	37 600
2.2.8 Zones sensibles	28 000		9 600	37 600
2.3 Interprétation, synthèse et rapports	70 000	4 000		74 000
2.4 Gestion (incluant acquisition des données complémentaires)	150 000			150 000
Sous-total	1 167 400	187 100	319 600	1 674 100
3. TRONÇON YICHANG - SHANGHAI				
3.1 Pré-traitement des images	394 800	321 840	135 360	852 000
3.2 Analyses				
3.2.1 Qualité des eaux	553 000		189 600	742 600
3.2.2 Zones inondables	220 500		75 600	296 100
3.2.3 Évolution des lacs	21 000		7 200	28 200
3.2.4 Occupation du territoire	488 250		167 400	655 650
3.2.5 Zones sensibles	56 000		19 200	75 200
3.3 Interprétation, synthèse et rapports	122 500	6 000		128 500
3.4 Gestion (incluant acquisition des données complémentaires)	280 000			280 000
Sous-total	2 136 050	327 840	594 360	3 058 250
4. ESTUAIRE ET MER DE CHINE				
4.1 Pré-traitement des images	67 200	26 840	23 040	117 080
4.2 Analyses				
4.2.1 Évolution de l'estuaire	126 000		43 200	169 200
4.2.2 Qualité des eaux	182 000		62 400	244 400
4.2.3 Zones sensibles	84 000		28 800	112 800
4.2.4 Coin salin	126 000		43 200	169 200
4.3 Interprétation, synthèse et rapports	52 500	3 000		55 500
4.4 Gestion (incluant acquisition des données complémentaires)	95 000			95 000
Sous-total	732 700	29 840	200 640	963 180
5. CONCEPTION, RÉALISATION D'UNE BANQUE DE DONNÉES	100 000			100 000
Grand total	4 151 150	544 780	1 114 600	5 810 530

1. Utilisation d'image SPOT pour réaliser:
- modèle numérique de terrain: 600,000,00 \$;
 - MNT + carte topographique : 1 200 000,00 \$.

vaste territoire ne s'arrête pas avec la production des rapports prévus, aussi exhaustifs qu'ils pourront l'être. La constitution d'une banque de données, incluant les données acquises par télédétection, pouvant être mise à jour régulièrement avant et pendant l'aménagement de ce vaste complexe hydroélectrique, et les moyens de visualisation qui y seront greffés, sont probablement aussi, sinon plus importants que les résultats qui seront fournis grâce à cette étude.

9. ÉCHÉANCIER

Une durée de l'ordre de trois ans est proposée pour la réalisation de l'ensemble de l'étude.

Il est possible de diminuer ce temps, si nécessaire. Toutefois, plus la durée totale allouée pour l'étude sera courte plus le nombre de systèmes de traitement d'images et d'équipes de réalisation devra augmenter. La coordination des travaux et l'intégration des résultats en sera d'autant plus difficile. De plus, cette décision laissera moins de temps pour acquérir de nouvelles images TM, surtout pour le tronçon de Chongqing à Yichang. Ces images sont nettement préférables aux images MSS.

Si, au contraire, il est possible d'allonger ce temps, les travaux pourront être mieux intégrés et davantage de nouvelles images seront disponibles. Il sera en outre plus facile d'obtenir des données au sol adéquates en planifiant, de concert avec les Chinois, des mesures lors des passages de satellites.

10. EXPERTISE CANADIENNE

La réputation du Canada dans le domaine spatial et en télédétection n'est plus à faire. Ainsi, le Canada a été le premier pays en dehors des États-Unis à disposer de sa propre station de réception des images LANDSAT dès le lancement de LANDSAT-1. La grille de référence mondiale des images LANDSAT a même été conçue au Centre canadien de télédétection.

Les Canadiens se sont intéressés à presque tous, sinon tous, les aspects de la télédétection, à partir du développement de capteurs jusqu'à l'utilisation à des fins opérationnelles des données acquises par télédétection, en passant par des systèmes clés-en-main de réception et de traitement d'images. Bon nombre de travaux ont aussi été réalisés sur les méthodologies de traitement d'image et l'obtention de résultats des plus intéressants.

Il serait trop long de citer ici en détail l'expertise canadienne de l'industrie privée, des agences gouvernementales et des milieux universitaires, en télédétection. Les divers groupes canadiens oeuvrant dans ce domaine ont déjà publié les résultats de leurs travaux antérieurs dans des comptes-rendus de symposiums canadiens et internationaux qu'il est facile de consulter.

Par ailleurs, le Canada a mis sur pied dès janvier 1972 un Comité consultatif canadien de la télédétection chargé:

- de conseiller le gouvernement canadien;
- de conseiller et d'aider tous les participants du Programme national de télédétection dans l'application des techniques de télédétection aux systèmes de gestion des ressources du pays;
- de promouvoir l'élaboration et la diffusion de méthodes et d'application de télédétection.

Les rapports annuels de ce comité font le point sur les activités en télédétection à travers le Canada. Comme ces rapports permettent de constater rapidement que les divers groupes canadiens oeuvrant en télédétection possèdent l'expérience nécessaire à la réalisation de l'étude décrite dans ce rapport, il a été décidé d'annexer le dernier de ces rapports à notre propre rapport.

En résumé, le Canada possède l'expertise, le personnel et les systèmes de traitement d'image nécessaires pour mener à bien l'étude du projet des Trois-Gorges par télédétection.

ANNEXE

RAPPORT ANNUEL DU COMITÉ CONSULTATIF CANADIEN DE LA TÉLÉDÉTECTION