

ANALYSE D'UNE IMAGE SATELLITAIRE

François Carlou
Rudolf Le Gall

Dans un cadre pluridisciplinaire (physique, biologie, géographie) des élèves de Première B ont étudié la réserve naturelle de Grand-Lieu en Loire-Atlantique, d'après une image numérique Spot de la région nantaise datée du 26 juin 1986. L'outil informatique permettra de traiter les données numériques et d'obtenir une carte de la végétation en période estivale. Ce document servira ensuite de base de travail pour l'étude de cet écosystème et de son évolution.

l'étude d'un milieu

Une classe de Première B du lycée Guy Moquet a étudié dans le cadre d'une progression pluridisciplinaire (physique, biologie, géographie) une réserve naturelle, le lac de Grand-Lieu, pour son intérêt écologique : une réserve biologique stricte qui offre un site tout à fait exceptionnel, et d'après une image numérique Spot (datée du 26.06.86) de la région nantaise.

... dans le cadre des programmes

Le travail de l'image de Grand-Lieu s'insère parfaitement dans les programmes de biologie et de géographie (in BO spécial n° 3 du 9 juin 1987) : "la mise en évidence des différents milieux de vie incitera les professeurs à poser le problème de l'utilisation écologique de l'espace. Deux grands problèmes actuels s'insèrent particulièrement dans les objectifs du programme :
- la place de l'homme dans les écosystèmes
- les problèmes d'aménagement et de gestion du milieu".

grâce à l'ordinateur

Il permet d'approcher les problèmes d'environnement en relation avec l'étude d'un écosystème protégé. Pour cela nous utilisons un nouvel outil, une nouvelle technologie grâce à l'assistance de la physique et de l'informatique. L'observation de la Terre par les divers satellites fournit essentiellement des images numériques permettant une analyse des zones observées qui va au-delà de la photo-interprétation traditionnelle. Dans le cadre de l'expérimentation "Utilisation pédagogique des images satellitaires" menée par le bureau des Innovations Pédagogiques et des Technologies Nouvelles de la Direction des lycées et collèges du Ministère de l'Éducation Nationale (DLC 15), nous utilisons en classe le logiciel de traitement d'images TITUS mis au point par l'INRP ⁽¹⁾.

- (1) L'expérimentation fait suite à une recherche INRP. Elle a permis à 28 lycées (un par académie) d'être dotés du matériel adéquat : un micro-ordinateur avec écran couleur (type PC-AT), une imprimante couleur et le logiciel TITUS mis au point par une équipe de l'INRP. Chaque académie dispose donc d'une équipe pilote auprès de laquelle il est possible de s'adresser pour toutes les questions concernant la télédétection (matériel, aspects pédagogiques, stages...). La DLC 15 va publier en 1990 un document reprenant les travaux des équipes engagées dans cette expérimentation. Le logiciel TITUS a évolué récemment : les noms de fichiers évoqués dans cet article sont différents dans la version actuelle du logiciel.

... et à la pluridisciplinarité	<p>Nous adaptons cet outil aux besoins de nos différentes disciplines. Et nous nous adaptons nous-mêmes puisque cette expérience pédagogique nécessite un travail pluridisciplinaire, ce qui représente une chance pour nos élèves.</p>
le travail en amont	<p>Dans le corps de cet article nous insisterons sur l'utilisation de l'outil informatique. Mais il faut avoir à l'esprit que les deux séances à l'ordinateur arrivent au milieu d'une progression interdisciplinaire.</p>
... pour l'acquisition des concepts	<p>Dans le cadre du programme de physique, le professeur a traité deux thèmes : fusées et satellites, spectroscopie. Il a réalisé, conjointement avec la biologie, une séance de travaux pratiques avec des radiomètres ⁽²⁾ permettant de dégager la notion de pixel ⁽³⁾ et de signatures spectrales ⁽⁴⁾. En biologie, le professeur a introduit le cours sur le rôle et la responsabilité scientifique de l'homme dans la gestion des équilibres de la biosphère. C'est donc naturellement qu'en géographie, le professeur va faire une approche de cet écosystème choisi pour son caractère régional, son caractère "naturel" (on précise aux élèves que l'expression "où l'homme est moins intervenu qu'ailleurs" est plus juste) et surtout à cause des menaces de disparition qui pèsent sur lui, menaces liées aux activités humaines périphériques.</p>
... et la motivation	<p>Les élèves comprennent que pour gérer un écosystème, il faut un suivi et des interventions quand il y a lieu. C'est donc logiquement, étant donné la grande taille de ce milieu, qu'on leur propose cette technique actuelle qu'est la télédétection. Celle-ci permettant d'obtenir une carte de végétation, bien sûr très simplifiée, qui va servir de support aux problèmes de gestion abordés ensuite.</p>
la télédétection pour créer un document	

1. APPROCHE DE L'IMAGE NUMÉRIQUE ET DE SON TRAITEMENT

comprendre une technique	<p>Avant d'utiliser un outil (le logiciel TITUS) sur un matériau (l'image numérique), l'élève doit comprendre le fonctionnement du premier et la structure du second. Pour cela il va réaliser "manuellement" le traitement d'une petite partie de l'image. De la sorte, et même si ce travail est un peu fastidieux, il va comprendre d'une part la nécessité de l'ordinateur et d'autre part le fonctionnement du logiciel.</p>
--------------------------	---

-
- (2) Radiomètres : ce sont des capteurs qui analysent l'énergie réfléchie (principalement dans le visible et l'infrarouge proche et moyen) ou l'énergie émise (infrarouge thermique) grâce à des détecteurs électroniques (photodiodes) sensibles à ces radiations.
 - (3) Pixel : surface élémentaire analysée par un radiomètre. Elle est de 20 m x 20 m en mode multispectral pour le satellite SPOT.
 - (4) La notion de signature spectrale sera explicitée plus loin dans le paragraphe 1.2.

1.1. La structure de l'image satellitaire

• Le système Haute Résolution Visible de Spot

le satellite ne
photographie pas

Son télescope forme l'image du sol sur des barrettes de photodiodes détectrices qui mesurent la réflectance des surfaces correspondant à chacune d'elles. La résolution est de 10 m en panchromatique et de 20 m en mode multibande (vert, rouge, infra-rouge proche) le long d'une ligne de 60 Km qui balaie le sol du fait du mouvement orbital du satellite (document 1).

• La structure de l'image

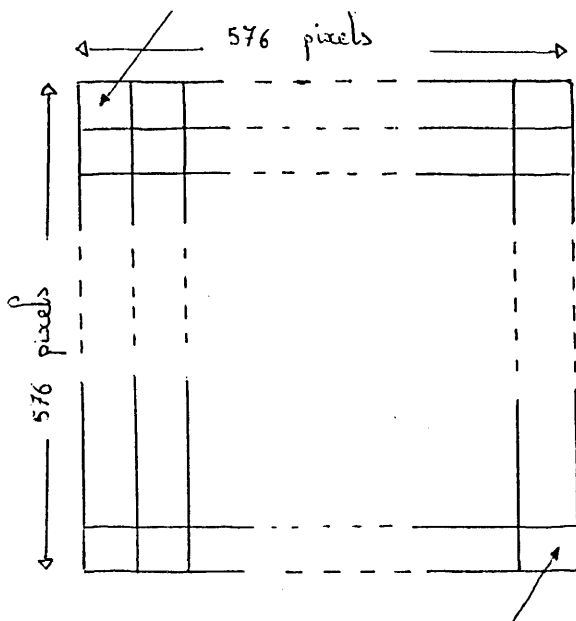
... il donne un
tableau
numérique

En mode multibande, chaque ligne est donc constituée de 3 000 carrés élémentaires ou pixels de 20 m x 20 m, chacun d'entre eux étant affecté d'une valeur radiométrique qui caractérise sa réflectance codée de 0 à 255 (sur un octet).

L'image observée dans un canal donné est en fait un tableau numérique où chaque pixel est défini par sa position géographique en lignes et colonnes et par sa réflectance qui dépend de sa nature.

Nous utilisons des sous-scènes de SPOT dont le côté est de 576 pixels, soit environ 330 000 données numériques pour chacun des trois canaux (document 2).

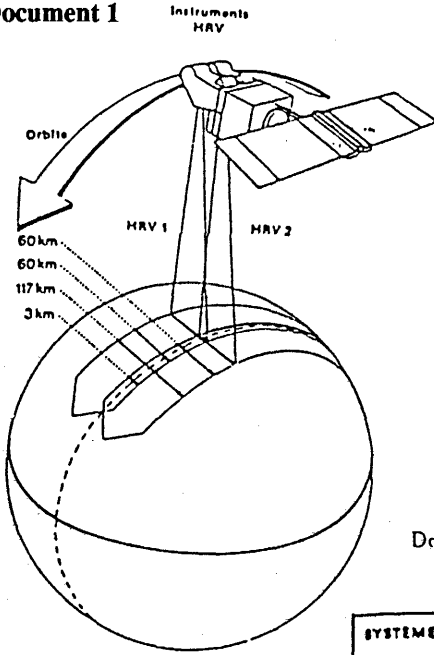
Document 2. Structure de l'image satellitaire pour un canal donné



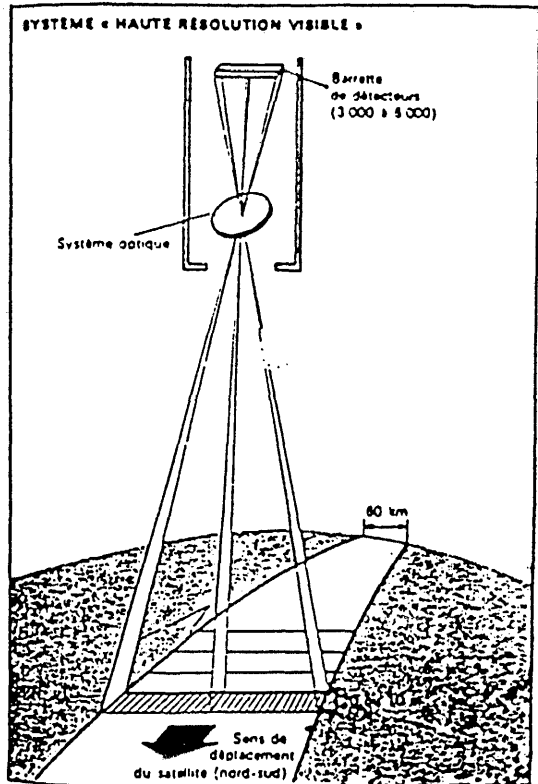
Un pixel correspond à une surface au sol de 20 m sur 20 m.

A chaque pixel est affecté une valeur radiométrique mesurée par le satellite et correspondant à la "lumière" émise ou réfléchié par la surface correspondante au sol.

Document 1



Document CNES.



1.2. Principe de l'analyse statistique de l'image numérique

- Choix d'un site contrasté de dimensions restreintes

Nous avons extrait un site de 121 pixels de l'image NANTT du lac de Grand-Lieu. La sortie imprimante respectant mal la forme carrée du tableau, il est nécessaire de le rebâtir géométriquement. On obtient ainsi une matrice reproduisant les pixels et leurs réflectances. Elle sera utilisée pour la suite du travail, sans aucune connaissance de la réalité du terrain qu'elle représente, en ne disposant que de sa distribution mathématique (document 3A).

- Réalisation manuelle de l'histogramme

Ce travail graphique est fastidieux mais indispensable : il consiste à classer les pixels selon la fréquence de leurs valeurs radiométriques (document 3B). La pratique montre qu'il est nécessaire de fournir rapidement aux élèves une méthodologie pour le tri des données, en relation avec le calcul d'équipopulation demandé ultérieurement.

l'élève fait en petit ce que l'ordinateur fera en grand

Le fait de réaliser, sur une faible population de pixels, ce que le logiciel fera sur l'image entière permet à l'élève de s'approprier "l'outil" : étape obligatoire si on veut que l'élève l'utilise correctement par la suite. De plus cela permet de réactiver les notions d'histogramme et d'équipopulation, notions souvent utilisées mais pas toujours dominées. Ce sont des notions indispensables au traitement d'image.

L'histogramme ainsi réalisé est ensuite comparé à celui réalisé par l'ordinateur qui se révèle alors un instrument performant capable d'effectuer rapidement une tâche peu complexe mais laborieuse (document 3C).

- Observation de l'histogramme : notion de seuillage

le seuillage confronté au document géographique

L'observation élémentaire de l'histogramme permet de distinguer deux groupes de pixels de part et d'autre de la valeur radiométrique 65. Les élèves reportent cette observation sur la première matrice du document 3 et créent ainsi un seuillage a priori arbitraire (document 4) qu'ils peuvent comparer à un document visuel comme la carte IGN. Le dessin obtenu en distinguant les deux groupes de pixels fait apparaître la délimitation entre l'eau et la terre recouverte de végétation.

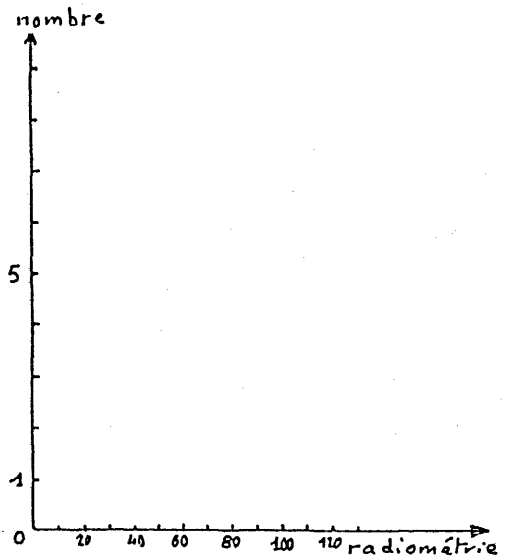
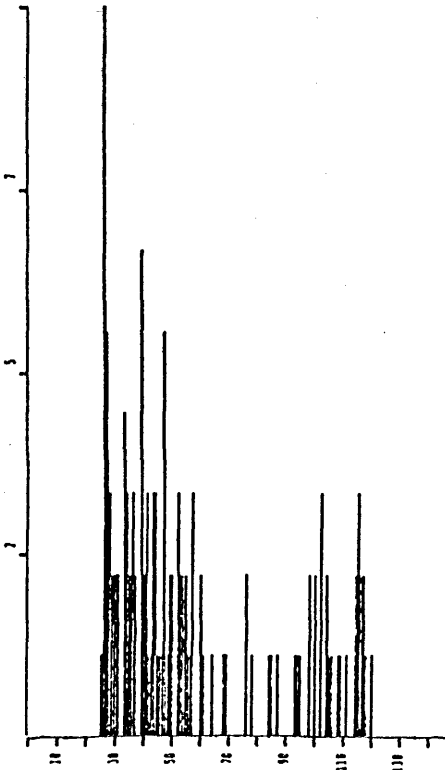
Document 3

25	26	30	33	30	27	25	27	26	26	27
28	34	41	43	44	42	41	35	29	26	26
31	41	43	44	47	47	50	47	37	34	40
27	33	39	43	52	56	55	47	44	47	48
26	28	39	61	95	104	85	60	49	57	54
26	26	35	52	93	115	109	84	55	57	53
28	27	33	49	60	100	116	100	76	69	68
36	29	33	50	57	87	115	116	102	98	94
36	34	39	47	52	78	114	120	108	102	102
36	40	39	39	53	76	104	117	115	105	106
31	37	39	45	54	64	98	117	118	114	111

3A. Matrice du site de 121 pixels
(*extrait de l'image NANTT*)

- lignes 175 à 185
 - colonnes 357 à 367
- canal infrarouge

3B. Histogramme à construire manuellement



3C. Histogramme du site de 121 pixels
réalisé par l'ordinateur

Canal 3
Minimum : 25
Maximum : 120

Document 4. Seuillage du site de 121 pixels

25	26	30	33	30	27	25	27	26	26	27
28	34	41	43	44	42	41	35	29	26	26
31	41	43	44	47	47	50	47	37	34	40
27	33	39	43	52	56	55	47	44	47	48
26	28	39	61	95	104	85	60	49	57	54
26	26	35	52	93	115	109	84	55	57	53
28	27	33	49	60	100	116	100	76	69	68
36	29	33	50	57	87	115	116	102	98	94
36	34	39	47	52	78	114	120	108	102	102
36	40	39	39	53	76	104	117	115	105	106
31	37	39	45	54	64	98	117	118	114	111

On a donc ici décidé d'un seuil (valeur radiométrique 65) simplement en observant la répartition des valeurs. Des documents géographiques sur la même zone indiquent que ce seuil correspond à la limite entre l'eau du lac (valeurs inférieures à 65) et les berges (valeurs supérieures à 65). C'est le premier rapport que l'élève réalise entre les valeurs radiométriques et leur correspondance avec une réalité biologique précise.

réinvestissement
des notions de
réflectance et de
signature
spectrale

Toutefois il faut se souvenir qu'en travaux pratiques de biologie et de physique, l'élève a utilisé des radiomètres pour mesurer la réflectance⁽⁵⁾ d'objets biologiques ou non : mesures faites, comme sur les satellites, dans des canaux précis (vert, rouge et infrarouge pour SPOT). Les résultats (document 5) montrent que chaque objet a une réponse particulière et propre à lui, que l'on appelle signature spectrale.

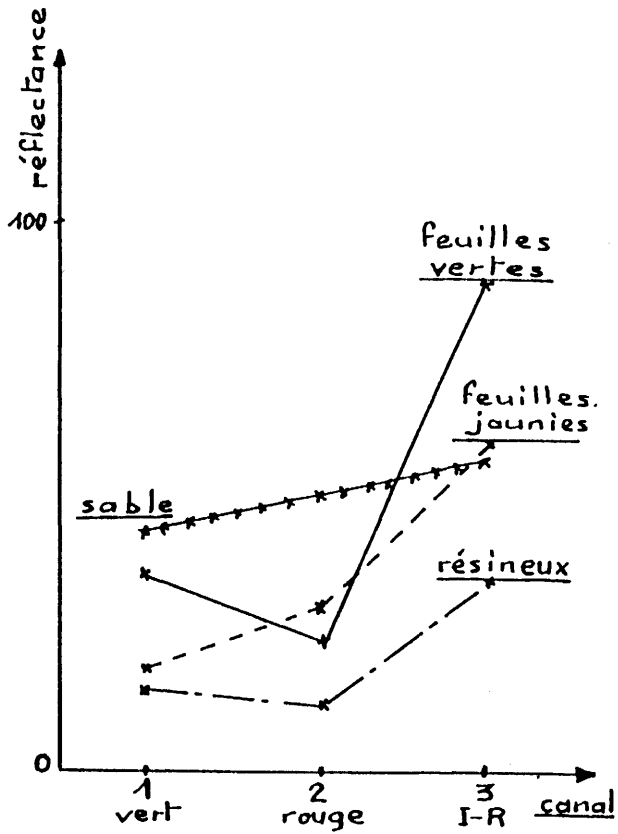
Le recours à cette notion de signature spectrale permet d'établir la correspondance entre les valeurs radiométriques et leur signification sur le terrain, introduisant ainsi la possibilité d'analyse supervisée.

(5) Réflectance : on définit la réflectance totale d'un objet, pour une longueur d'onde donnée, comme le rapport de l'énergie totale réfléchie par l'objet par unité de surface, sur l'énergie incidente totale reçue par ce même objet par unité de surface.

Document 5. Mesure des réflectances

Surface \ Filtre	Vert 500-600 nm	Rouge 600-700 nm	I-R 800-1000 nm
blanc	93	93	93
noir	9	11	10
gris	19	24	86
vert	19	20	30
rouge	15	66	91
feuilles vertes	35	23	89
feuilles jaunies	18	30	60
résineux	13	11	34
sable	43	50	57

Réponses spectrales



• Réalisation d'une équipopulation en quatre classes

Le seuillage précédent est nettement tranché : il ne rend pas compte du passage progressif de l'eau à la végétation. Afin de visualiser le tableau numérique, nous proposons de regrouper les pixels en plusieurs groupes d'importance équivalente. Le faible nombre de pixels du site retenu limite la partition ; il permet cependant de réaliser une équipopulation en quatre classes. Le logiciel TITUS admet, quant à lui, 8 ou 16 classes d'équipopulation.

l'équipopulation
pour rendre
compte de
variations
progressives de
végétation

En principe, chaque groupe de pixels doit comporter une trentaine d'individus. On comptabilise donc les pixels par ordre croissant de réflectance jusqu'à obtenir un premier groupe de trente, puis on passe à la classe suivante. On constate la nécessité de choix arbitraire pour le classement de certaines valeurs radiométriques, les effectifs de chaque classe ne pouvant être rigoureusement identiques.

Le résultat de cette équipopulation est visualisé sur la matrice du document 6 en attribuant à chaque classe soit une nuance de gris dans l'échelle blanc-noir, soit une couleur ou tout autre code. La limite des classes sur cette matrice dessine des arcs de cercles concentriques que l'élève interprète assez facilement comme une zonation de la végétation en passant de l'eau à la terre ferme.

Document 6. Équipopulation en quatre classes du site de 121 pixels

25	26	30	33	30	27	25	27	26	26	27
28	34	41	43	44	42	41	35	29	26	26
31	41	43	44	47	47	50	47	37	34	40
27	33	39	43	52	56	55	47	44	47	48
26	28	39	61	95	104	85	60	49	57	54
26	26	35	52	93	115	109	84	55	57	53
28	27	33	49	60	100	116	100	76	69	68
36	29	33	50	57	87	115	116	102	98	94
36	34	39	47	52	78	114	120	108	102	102
36	40	39	39	53	76	104	117	115	105	106
31	37	39	45	54	64	98	117	118	114	111

Document 6. Équipopulation en quatre classes du site de 121 pixels (suite)

Classe	1	2	3	4
Borne inférieure	25	35	48	85
Borne supérieure	34	47	84	120
Effectif	31	32	28	30
Code				

Pour autant, cette analyse plus affinée que le seuillage précédent reste liée à l'arbitraire statistique et ne livre pas la signification biologique des différentes classes. Des informations complémentaires doivent être fournies à l'élève : cartes I.G.N., sortie sur le terrain...

L'élève a néanmoins réalisé une cartographie sommaire de ce petit site. Il va pouvoir aborder la cartographie de toute l'image, l'ordinateur se chargeant cette fois-ci des calculs.

Le travail décrit dans ce chapitre est préparé en cours, réalisé à la maison et exploité au cours suivant.

2. Le va-et-vient entre l'ordinateur et la réalité-terrain

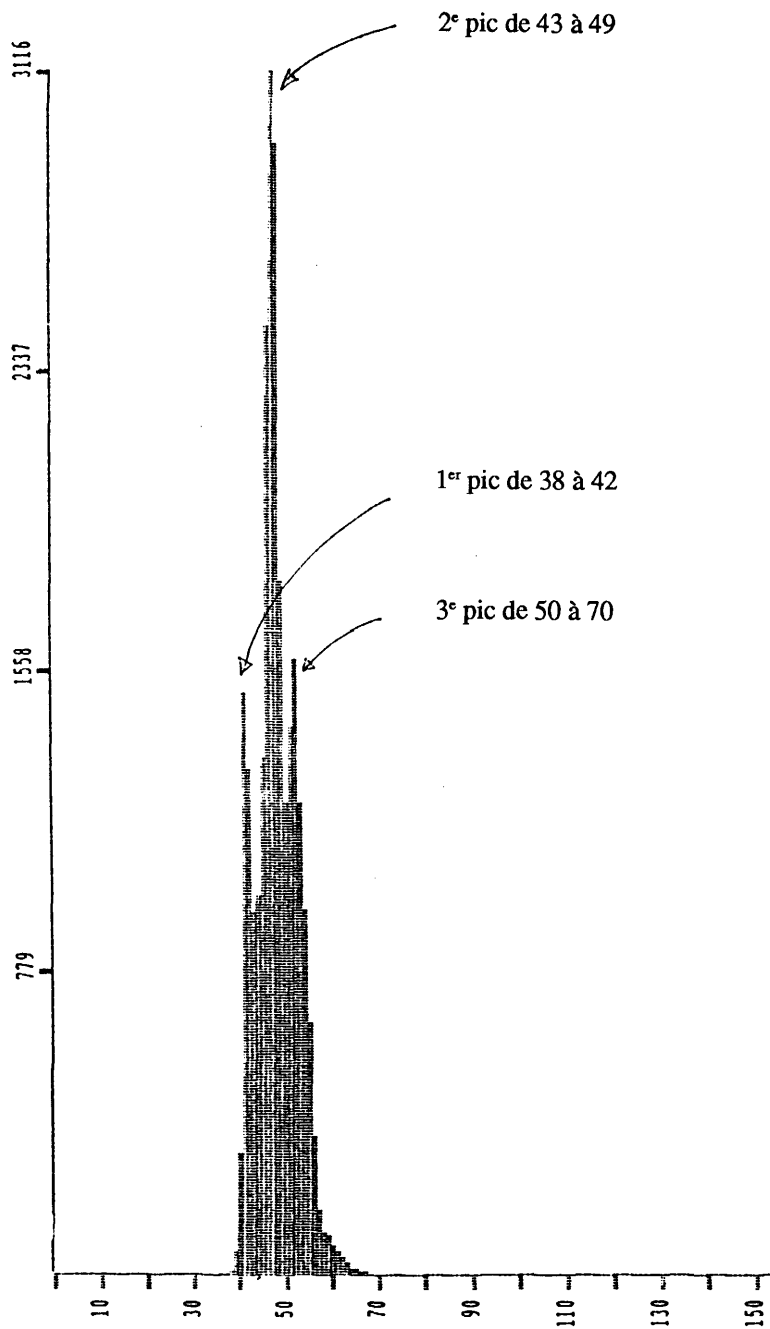
L'élève a maintenant compris le travail effectué par l'ordinateur ; il va pouvoir s'attacher à la classification des valeurs radiométriques, analyse supervisée, en vue d'établir une carte thématique. Donc il va devoir corréliser la valeur des pixels et la réalité-terrain.

2.1. Première phase, le seuillage : rechercher les seuils pour un canal donné afin d'établir une classification

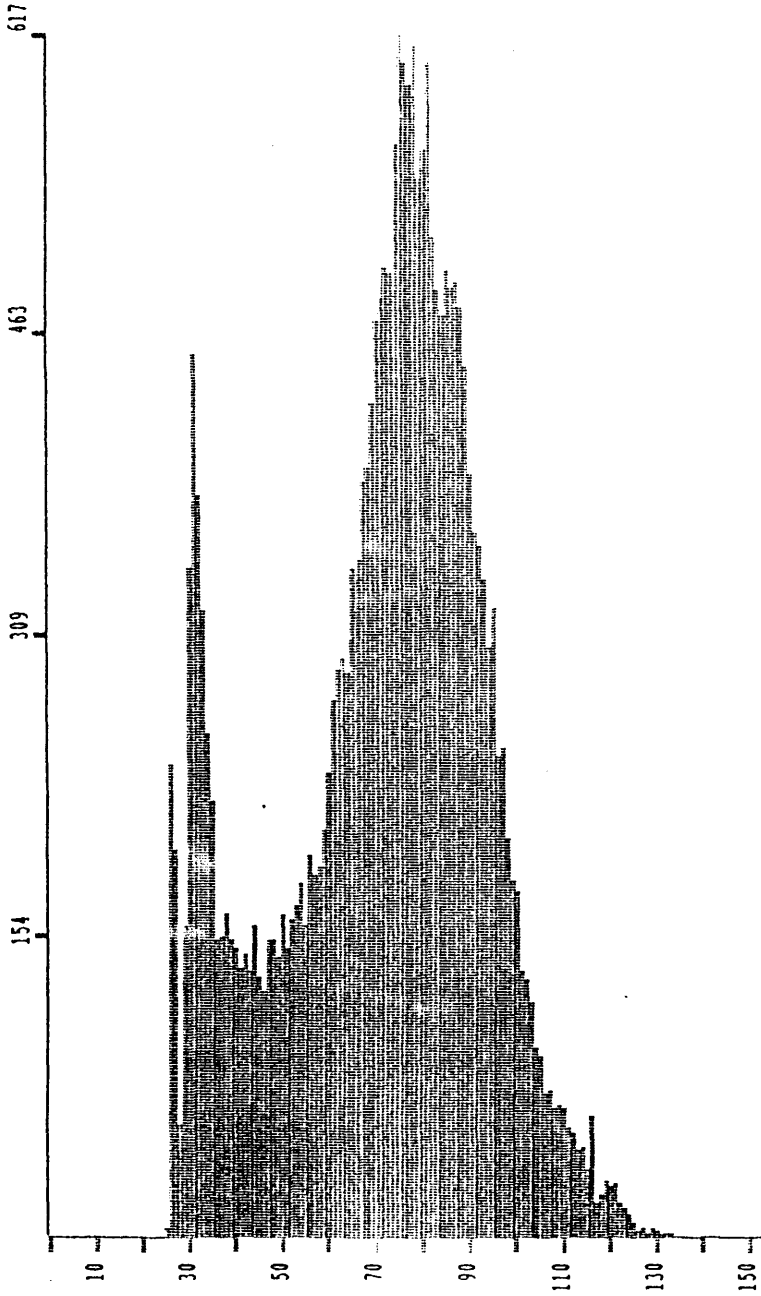
faire correspondre des valeurs radiométriques à une réalité-terrain

Après avoir étudié l'écosystème de Grand-Lieu avec les moyens traditionnels de la géographie, les élèves ont réalisé le zonage de la région étudiée d'après l'image satellitaire. Hormis ce zonage, ils disposent des sorties à l'imprimante des histogrammes des deux canaux choisis (ici les 1 et 3 de Spot) (documents 7A et 7B) et de documents sur la répartition de la végétation.

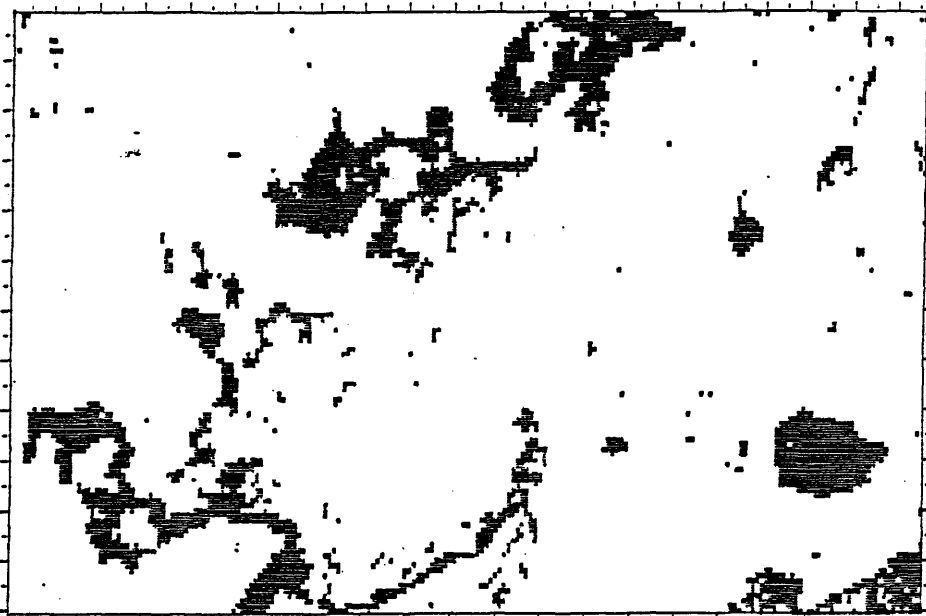
Document 7A. Histogramme du canal 1 (réflectance dans le vert)
Minimum : 38 - Maximum : 70



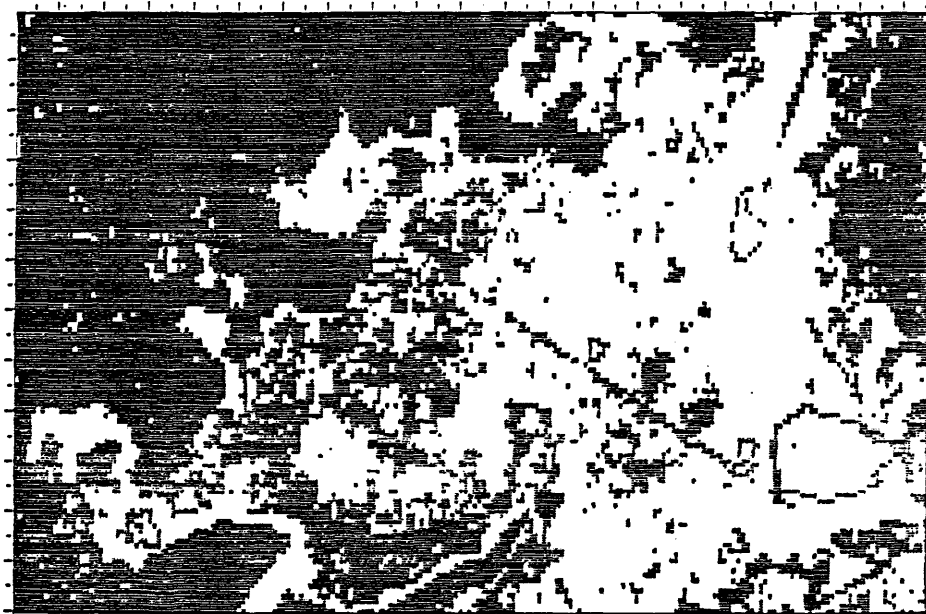
Document 7B. Histogramme du canal 3 (réflectance dans l'infrarouge)
Minimum : 25 - Maximum : 133



Document 8A. Canal 1, seuillage 38-42
Eau non recouverte de plantes annuelles



Document 8B. Canal 1, seuillage 43-49
Roselière et nénuphars



Document 8C. Canal 1, seuillage 50-70
Autres plantes annuelles flottantes



Les élèves vont étudier successivement les deux histogrammes grâce au module HISTO du logiciel TITUS. Le but est de rechercher les seuils, pour un canal donné. Ces seuils vont être testés grâce au module AFIMA qui permet de n'afficher que les pixels dont les valeurs sont comprises entre deux seuils (seuillage) : l'ordinateur affiche sur l'écran tous les pixels compris entre les deux seuils choisis. On localise donc géographiquement ces pixels (documents 8A, 8B et 8C).

La comparaison avec les documents concernant la répartition de la végétation permet d'associer un groupe de valeurs radiométriques à une végétation précise, par exemple sur le canal 1 (document 7A) :

- de 38 à 42 : eau non recouverte de plantes annuelles,
- de 43 à 49 : roselière et nénuphars,
- de 50 à 70 : autres plantes annuelles flottantes.

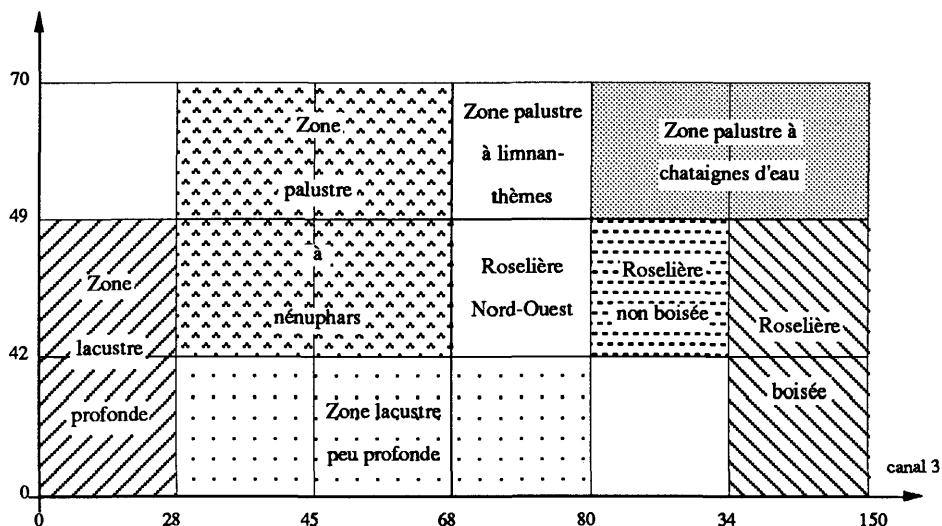
**2.2. Exploitation des résultats de seuillage :
 réalisation d'une classification**

Le travail de l'élève se poursuit en dehors du cours. À l'aide d'un tableau ayant pour abscisses les différents seuils du canal 3 et pour ordonnées les différents seuils du canal 1 (les intersections formant des cases qu'il faut identifier) les élèves vont bâtir une

isoler chaque
type de
végétation

classification des valeurs radiométriques selon les deux canaux en utilisant les résultats des seuillages précédents, c'est souvent pour l'élève la partie la moins concrète du travail et pourtant elle est fondamentale. En effet, elle va permettre d'isoler des thèmes non différenciables sur un canal (document 9).

Document 9. Lac de Grand-Lieu, classification



Les seuils pour chaque canal et la signification des cases sont fixés par l'élève et résultent de son travail de seuillage

... grâce à sa réflectance dans un ou plusieurs canaux

L'identification des cases ainsi créées doit être la plus poussée possible. Les cases non identifiées sont repérées par des signes distinctifs (x, y,...). L'élève dispose de quelques sites-tests correspondant aux thèmes retenus (ex : eau, roselière...) avec pour chacun les valeurs radiométriques moyennes, l'écart-type et le minimum et maximum (voir document 10). Cela lui permet de résoudre le problème des limites et les problèmes d'extensions d'un thème à plusieurs cases.

Document 10. Exemples de sites-tests : l'ordinateur fournit les valeurs radiométriques

Parcelle no : 3				
<u>ROSELIERE MIXTE</u>				
mois : 6				
coordonnées : 55~65~20~30				
canal	moyenne	écart-type	minimum	maximum
NANE1	48.1	0.8	46	50
NANE2	30.9	0.6	29	32
NANE3	85.8	5.0	75	99
NANEV	187.0	3.3	178	194
Parcelle no : 1				
<u>ZONE LACUSTRE</u>				
mois : 6				
coordonnées : 85~95~179~189				
canal	moyenne	écart-type	minimum	maximum
NANE1	41.0	0.4	40	42
NANE2	27.1	0.4	26	28
NANE3	26.4	0.5	26	28
NANEV	125.5	1.4	122	129

Seuls les canaux 1 et 3, notés ici NANE 1 et NANE 3 sont utilisés.

Le site-test correspond, en général, à une zone de quelques dizaines de pixels repérée sur le terrain.

2.3. Réalisation de la carte thématique

Les élèves arrivent à cette séance avec leur classification. En utilisant le module HYPIC du logiciel, ils entrent leurs données. Ce module va associer à chaque pixel une réalité sur le terrain (exemples : eau libre, nénuphars, roselières...). Systématiquement chacun des 24 000 pixels (taille de la sous image utilisée avec les élèves) va ainsi être identifié grâce à la classification établie.

La sous-image a été choisie pour que le calcul par l'ordinateur n'excède pas cinq à dix minutes (avec PC-AT ; avec PC-XT tous les temps sont augmentés). Au cours du calcul, le suivi sur l'écran est possible et permet, entre autres, de localiser les cases non identifiées (grâce aux signes) et parfois de les identifier.

l'ordinateur
remplace les
valeurs
radiométriques
de chaque pixel
par leurs
significations sur le
terrain

Le module AFIMA, en associant une couleur à chaque réalité-terrain, va permettre d'afficher à l'écran la carte réalisée. L'affichage par AFIMA de la classification permet de vérifier la valeur de la carte établie et donc éventuellement de remanier la classification (la sous-image est de taille réduite, le calcul par ordinateur rapide, donc au cours de la séance d'une heure les élèves peuvent remanier, refaire, calculer leur classification : identification de nouvelles cases, modifications de certaines...).

le résultat : une
carte de
végétation en
deux heures !

La sortie sur imprimante en noir et blanc ou en couleur constitue l'accomplissement du travail de l'élève. On a ainsi une carte de la région étudiée, avec en légende les thèmes choisis, et ceci après deux heures de travail sur ordinateur (document 11).

CONCLUSION

Le traitement de l'image numérique est une démarche riche pour l'élève. D'abord, ce qui précède l'a montré, il nécessite une grande rigueur. Mais en même temps, il montre un aspect permanent de la recherche scientifique : le passage des faits, réalité non critiquable (comme l'est l'image numérique), à l'interprétation nécessaire pour créer une carte de végétation (arbitraire dans le choix des seuils, précision plus ou moins grande des relevés sur le terrain...). Même si son document final est critiquable, l'élève l'a réalisé lui-même. L'appropriation est immédiate. La suite du cours, basée sur ce document, n'aura pas besoin d'autres motivations.

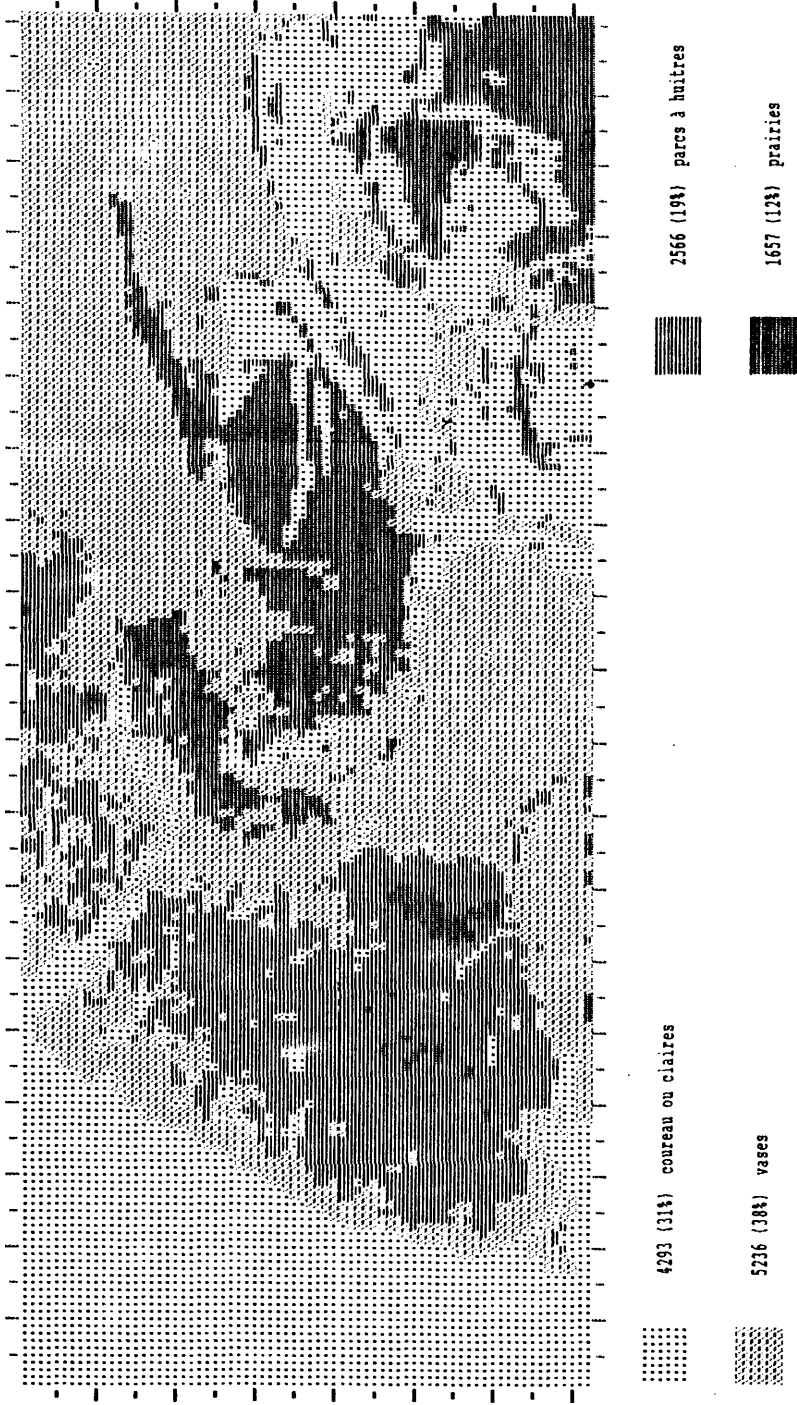
acquisition de
savoir mais surtout
développement
d'une attitude
scientifique

Ensuite cette technique amène à utiliser l'ordinateur, qui ici s'impose : une image de soixante kilomètres sur soixante kilomètres représente neuf millions de pixels ; à chacun correspond trois valeurs radiométriques (une dans le vert, une dans le rouge et une dans l'infra-rouge), soit en tout vingt-sept millions de chiffres à manipuler ! L'ordinateur garde auprès de l'élève une dimension ludique motivante.

Les images satellitaires, si elles font partie du quotidien (images météorologiques; illustrations de revues...) gardent néanmoins un certain mystère. Le travail réalisé par l'élève concrétise ce type de document en le rendant immédiat. A partir de là, cet outil peut être réutilisé pour d'autres parties des programmes sans perte de temps : par exemple, les multiples documents d'imageries médicales seront facilement appréhendés.

Enfin la pluridisciplinarité s'impose comme en beaucoup de domaines actuellement. Pluridisciplinarité des connaissances mais aussi pluridisciplinarité dans la démarche pédagogique. L'ensemble décloisonne les connaissances et les attitudes des élèves de lycée.

Document 11. Exemple de carte thématique obtenue par les élèves d'après une image SPOT de la région d'Oléron .
Cette réalisation a été faite au cours d'un thème sur l'ostréiculture.



Si au terme de cette progression, l'élève a acquis un nombre certain de savoirs, il a aussi appris des démarches : passer du fait à l'hypothèse, de l'ordinateur au terrain, du cadre disciplinaire à l'équipe pluridisciplinaire.

François CARIOU
Lycée agricole et horticole
Angers - Le Fresne
Rudolph LE GALL
Lycée Guy Moquet
Chateaubriant

BIBLIOGRAPHIE

BAKIS H., *La photographie aérienne et spatiale*, Que sais-je ?, n° 1700, P.U.F., 1978.

CASSANET J., *Satellites et capteurs*, Collection télédétection satellitaire, 128 pages, Editec Caen, 1984.

CHABREUIL A. et M., *Exploration de la Terre par les satellites*, 156 pages, Paris, Hachette, 1979.

DIZIER J.-L. et LÉO O., *Télédétection*, 275 pages, FORHOM, 1986.

Du satellite à la classe, INRP, Collection Rencontres pédagogiques, n° 17, 1987, 128 pages

FOIN P., *Cours de télédétection*, 78 pages, 1985.

GAUTHIER A. et VAUZELLE M., *La télédétection spatiale : un nouveau visage de la Corse*, 25 diapos, 72 pages, Ajaccio CNES-CRDP, 1986.

JOLY G., *Les données image*, collection Verger télédétection satellitaire, 133 pages, Editec Caen, 1984.

RICHARD Y., "Les images satellitaires au lycée", *Bulletin APBG*, n° 3, 1989.

VERGER F., *L'observation de la Terre par les satellites*, Que sais-je ?, PUF, 1978.

