

## CHRONOLOGIE RELATIVE ET EXPLICATIONS DES FORMES D'ANCIENS RIVAGES D'APRÈS LEURS IMAGES AÉRIENNES

par Max GUY \*

**Résumé.** — L'analyse des formes des anciens rivages à partir des images aériennes (avions et satellites) à diverses échelles permet de les classer puis de les relier par des relations chronologiques.

Certaines formes correspondent à des modèles connus d'évolution (dominance de l'influence de la houle ou des apports terrigènes, etc.), d'autres marquent le passage d'accidents géologiques, d'autres enfin posent des problèmes à l'interprétation. Aux diverses échelles d'analyse (1/500 000 à 1/5 000), la perception des phénomènes peut être complémentaire des renseignements obtenus sur le terrain et en tout cas permet de choisir les points les plus favorables à l'exploitation par sondages.

Plusieurs exemples illustrent cette méthodologie pris en particulier sur le delta du Rhône et le golfe du Lion. Les lignes de cordons que l'on peut analyser dans le delta du Rhône montrent d'une part une évolution saccadée avec plusieurs « discordances », d'autre part l'influence très marquée d'accidents géologiques qui séparent des zones où la « subsidence » ou la « surrection » relatives influencent fortement la morphologie. Les cordons qui barrent les étangs du Golfe du Lion ont aussi une évolution complexe durant les derniers millénaires et des lignes de rivages très différentes de l'actuelle peuvent être identifiées et parfois datées.

**Abstract.** — *Relative chronology and morphologic interpretation of ancient shorelines from aerial documents.* Morphologic classification and chronological relationships of former shorelines are deduced from analysis of aerial — aircraft and satellite — imagery at different scales.

Former shoreline morphology is controlled by swell characteristics, terrestrial sediment supply, tectonic accidents, and, in some instances, by other factors which are not clearly understood. Analysis at different scales (1/500,000 to 1/5,000) gives a perception of the studied area which improves the picture drawn from field data. Moreover, if necessary, it allows to locate drillholes in the most suitable places. The proposed methodology is illustrated by case studies chosen in the Rhône delta and the coastal plain of the Lion gulf. Beach ridges in the Rhône delta are the result of a complex evolution evidenced by a cut-and-fill structure. They are also influenced by crustal movements which may induce subsidence or uplift. The sandy spits which close the coastal lagoons of the Lion gulf also show a complex sequence of events whose main stages are now known and dated.

Les images aériennes utilisées depuis bien longtemps pour l'étude des lignes des anciens rivages évoluent peu à peu de la photographie panchromatique vers des technologies faisant appel à la couleur, au rayonnement infra-rouge, au support du satellite et au traitement numérique.

Quelles que soient l'origine, l'échelle, la forme d'une image aérienne ou satellitaire, quelque soit le raffinement des traitements préalables à l'interprétation c'est la perception de formes et leur interprétation dans un « contexte d'idées reçues » qui donneront des renseignements ou des explications utiles. A travers des exemples d'interprétation de certaines formes, en particulier des structures induisant des chronologies relatives, nous allons voir comment utiliser l'outil de la télédétection.

Un premier exemple pris sur la côte du Roussillon montre une série de rivières, le Tech au Sud, la Têt au Nord, d'importance analogue, et au Nord de la Têt le Bourdigou, modeste par son bassin versant, mais dont la largeur fait penser qu'il est un ancien lit de l'Agly.

Chacune de ces embouchures apparaît comme un « faux delta » à deux bras de même importance dont l'un seulement est fonctionnel.

\* Groupement pour le Développement de la Télédétection aérospatiale (G.D.T.A.), Toulouse.

Les photos aériennes (fig. 1) montrent que la forme détaillée de ces dispositifs est très similaire : la branche morte est au Nord; la branche méridionale, vive, est obstruée et déportée vers le Nord par une flèche littorale; la branche morte est comme coupée par le littoral actuel. On peut imaginer dans un tel cas que le rivage recule ou plutôt a reculé en s'érodant et donc que la ligne de rivage correspondant à certaines époques ne pourra pas être retrouvée. On peut aussi imaginer que ces deux branches coexistent mais ne sont pas fonctionnelles aux mêmes époques : lorsque le débit et le débit solide sont faibles et que la mer est basse, la rivière coule droit à la mer et l'influence du courant cotier, prépondérante, modèle la flèche d'embouchure; mais lorsque le débit solide est fort et la mer haute la rivière fait des méandres et son énergie est assez forte pour que l'influence du courant cotier ne soit plus perceptible; le cordon littoral et la plage se reconstituent très rapidement après une période de crise. On peut même envisager une troisième hypothèse qui est la synthèse des deux précédentes : sur un modèle d'évolution lente suivant la première hypothèse se jouent de temps à autre des paroxysmes suivant le deuxième.

Ainsi le modèle d'interprétation choisi pour un ensemble de formes perçues (« les idées reçues ») compromet très fortement le résultat; dans cet exemple le choix de la première hypothèse entraîne le refus de rechercher des lignes de rivage d'époque « historique » car elles sont certainement érodées.

Le rôle de la télédétection est donc bien celui d'un outil, que l'on peut utiliser à sa guise; elle ne démontrera rien, elle suggèrera des hypothèses et fournira des éléments pour l'interprétation qui ressort du géomorphologue, du géologue ou plus généralement de l'historien.

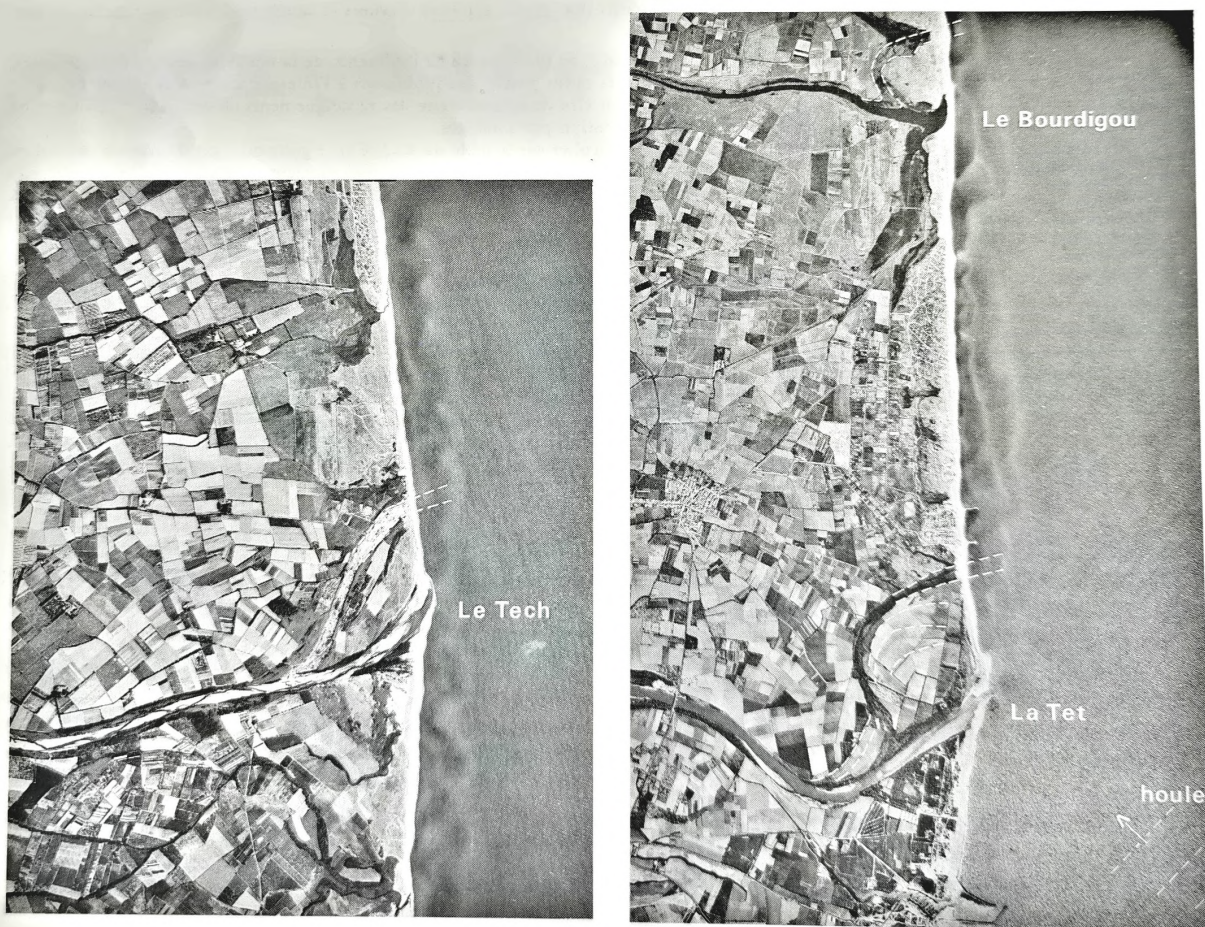


FIG. 1. — Embouchure des fleuves roussillonnais (photos I.G.N. 1962) : a) embouchure du Tech — b) embouchure de la Tet et du Bourdigou.

Mais la télédétection peut suggérer des modèles par la comparaison de formes ou d'évolutions de formes dans des contextes différents.

L'image satellitaire (fig. 2) montre le delta du Rhône; dans sa partie orientale apparaissent le grand Rhône actuel et les méandres du Vieux Rhône et du Rhône d'Ulmet. L'ensemble dessine, à une tout autre échelle, un schéma analogue au précédent mais ici des dates assez précises sont connues (bibliographie dans les cartes géologiques Saintes-Marie-de-la-Mer et Istres au 1/50 000) qui suggèrent un modèle du premier type : à une époque antérieure au XVI<sup>e</sup> siècle un système méandriforme (Rhône d'Ulmet) s'ouvre (Rhône du Passon) sur un rivage actuellement disparu peut être par subsidence, puis dans le courant du XVII<sup>e</sup> siècle jusqu'en 1711 le « Vieux Rhône » méandriforme aussi le remplace, jusqu'au court-circuit brutal qui donne naissance au bras rectiligne du Grand Rhône (XVIII<sup>e</sup> siècle) qui construit les cordons d'embouchure du rivage actuel.

Donc l'hypothèse « les bras rectilignes ont succédé au système méandriforme » est renforcée et précisée; on va pouvoir rechercher ailleurs sur la côte si l'on peut retrouver d'autres cas et préciser le modèle. Mais ces observations suggèrent l'hypothèse complémentaire qu'il existe un phénomène commun à l'ensemble du Golfe du Lion (ou plus général...) qui fait évoluer les formes de la même manière; il faudrait voir si les évolutions de formes sont simultanées (Guy, 1975).

Si la comparaison des formes à longue distance peut suggérer des modèles d'interprétation, la même forme répétée ou dédoublée en un même lieu va impliquer une chronologie.

L'exemple de l'image satellitaire (fig. 3) suivante montre le rivage régulier du cordon littoral au fond du Golfe du Lion, entre Leucate et Saint-Pierre-la-Mer, dont la régularité suggérerait la permanence. Un assemblage de photographies, puis l'examen du détail du « Grau de la Vielle Nouvelle » entre Gruissan et Port La Nouvelle vont nous montrer qu'il n'en est rien.

L'assemblage de deux photographies (fig. 4) montre le grau actuel orienté N-S à peu près, rendu dissymétrique par un courant littoral NE-SO. La forme en corne d'abondance très caractéristique attire notre attention sur une forme identique mais orientée pour sortir vers le N-E située 1 km au Nord. Ce deuxième grau n'est plus du tout fonctionnel isolé de la mer par un cordon littoral d'un demi kilomètre de large.

La juxtaposition de deux formes indiquant la même fonction implique ici une chronologie relative : « l'ancien grau abandonné recoupait un ancien cordon ». Mais l'image apporte un autre renseignement important : l'orientation opposée du courant littoral.

L'examen d'une photo à très grande échelle (fig. 5) confirme l'ancienneté du grau inactif : non seulement le cordon présente des formes d'érosion en croissant qui impliquent une longue évolution, mais une végétation fixée est accompagnée de vestiges de structures d'aménagement. Quant au grau fonctionnel, il montre au Nord un bras ramifié qui semble surimposé sur une autre forme analogue située un peu au Sud. Enfin tout au Sud une autre forme en corne ramifiée érode le rivage. Il apparaît donc que le grau actuel a évolué lui-même depuis un certain temps.

On voit ici à la fois l'intérêt de la photo-interprétation qui fait découvrir le grau et le cordon littoral fossiles, mais sa limite car la chronologie relative ne peut pas conduire à une datation des lignes de rivage.

Au sol on connaît une tour de vigie du XVIII<sup>e</sup> siècle implantée pour surveiller le grau actuel et dans les lieux marqués T on a trouvé des tessons d'amphore non roulés. La recherche doit alors faire appel à des sondages sédimentologiques et stratigraphiques. J'ai montré ailleurs (Guy, 1981), sur le site de Gruissan, comment en présence d'une falaise morte en arrière d'une série d'étangs et de cordons littoraux on pouvait tenter de reconstituer l'évolution des lignes de rivage.

Suivant une méthode analogue nous allons analyser l'apport relatif de la télédétection et des travaux de terrain sur le site de l'Étang de La Palme et du cordon littoral antique des Coussoules, au nord de Leucate-La Franqui.

Le choix de cette zone n'est pas innocent : l'exemple précédent nous a montré que sous l'apparente uniformité du cordon littoral pouvaient apparaître des divagations d'un même phénomène. Dans ce nouveau cas le cordon littoral succède à un golfe ouvert il y a peu de temps et l'on peut y percevoir l'extrême complexité de la dynamique de la construction d'une flèche littorale au cours de deux millénaires.

L'image de satellite (fig. 3) permet de saisir l'originalité du site de l'étang de La Palme, coïncé entre les deux môles rocheux de Leucate et du Cap Romarin. Abstraction faite de la voie ferrée et du cordon sableux actuel on voit se détacher du Cap Romarin vers le Sud et le Nord et du promontoire de Leucate vers le Nord deux langues de terres cultivées, flèches littorales qui auraient pu se rejoindre en fermant le golfe. Cependant

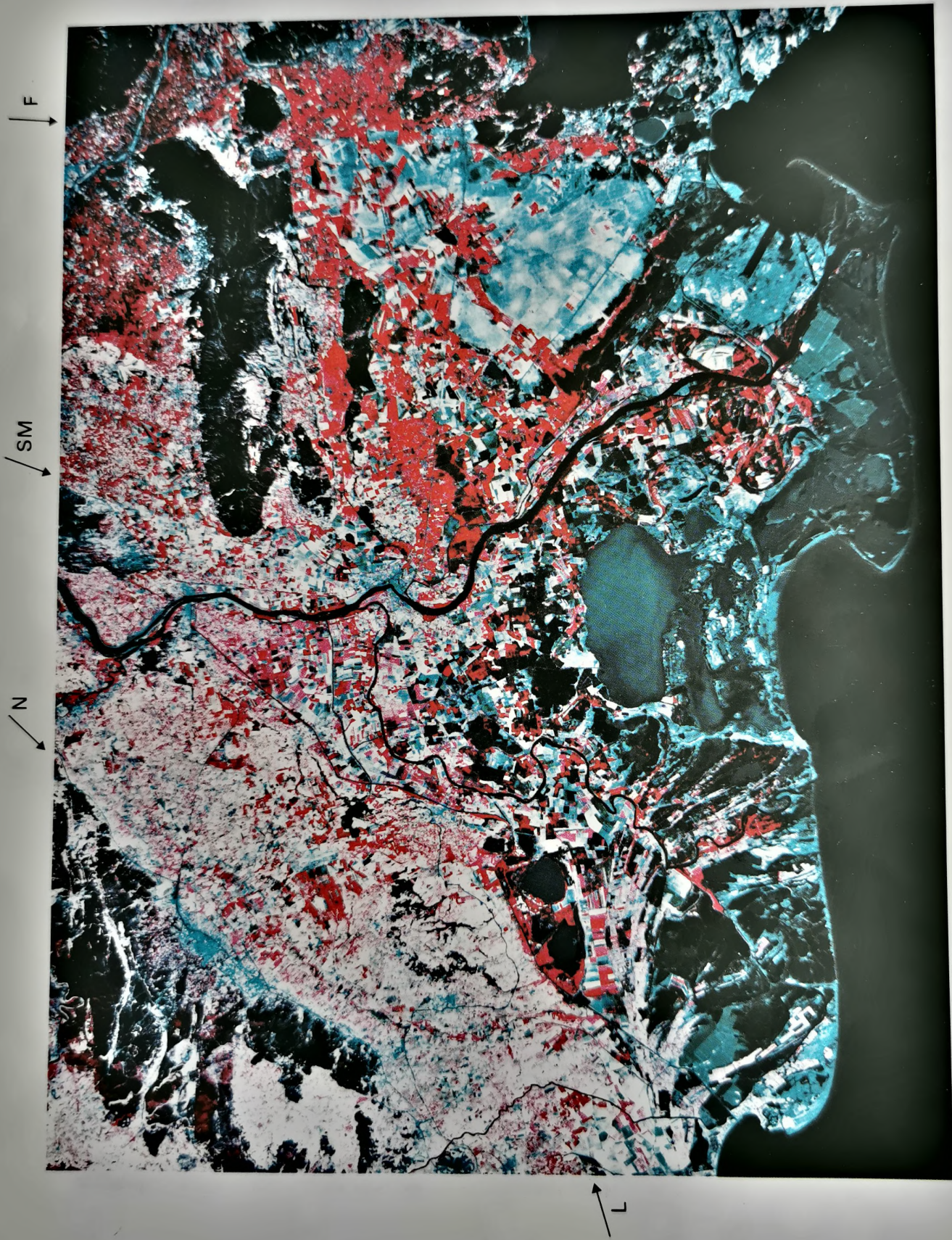


FIG. 2. — Delta du Rhône - Image Landsat Thematic Mapper, juillet 1984 (traitement I.F.P.). On voit les grands accidents géologiques qui sous-tendent les secteurs d'évolution différente du delta : N. = faille de Nîmes; L.L. = linéament figure; S.M. = faille des Saintes-Maries; F. = faille de Fos.  
Le lobe oriental sur lequel se surimpose le Grand Rhône actuel montre le système méandriforme abandonné brutalement au VIII<sup>e</sup> siècle.

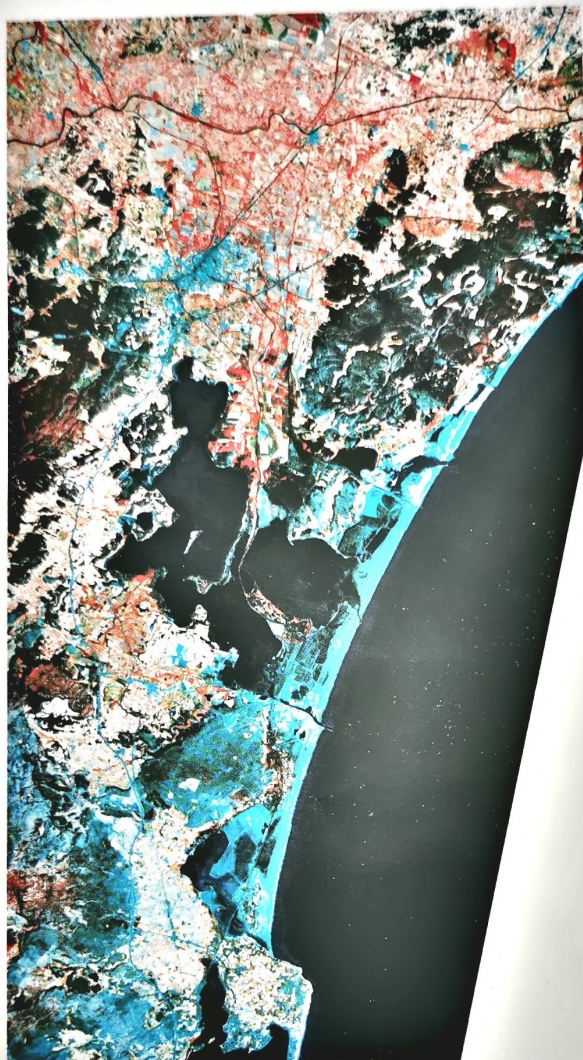


FIG. 3. — « Golfe Narbonnais »- Image de satellite (Landsat T.M., résolution 30 m, restituée par l'I.F.P. en « couleur infra-rouge »). On discerne du sud au nord, le promontoire de Leucate d'où se détache vers le nord, la flèche littorale des Coussoules, ensuite la double flèche du cap Romarin, puis Port-La Nouvelle. Enfin les nouveaux ports de Gruissan, lieu de découverte de navires antiques, dont le rivage a été étudié à cette occasion (M. Guy in Y. Solier *et al.*, 1981).

l'image suggère une grande ouverture entre les deux flèches. En parcourant les champs qui bordent les falaises mortes au Nord, ou les îles argileuses (« mattes ») dans l'étang on constate que la faune très abondante est marine et non lagunaire. Les petits cardiums n'apparaissent que sur les accumulations les plus « récentes » des rivages de l'étang. Donc le golfe était ouvert; cependant il était déjà fermé au XVIII<sup>e</sup> siècle (Noguès, Cassini, cf. Pineau 1963, 1966) et probablement antérieurement.

L'assemblage de photographies aériennes au 1/30 000 (1953) (fig. 6) permet de distinguer d'abord le littoral actuel, un cordon continu (A) coupé par le seul grau de La Franqui. En arrière apparaît un cordon (B) dont le tracé est moins régulier et peut sembler comporter deux unités distinctes. Il est nettement coupé par plusieurs graus, La Franqui au Sud et la Jongrausse-Nord au Nord mais il ferme le grau de la Jongrausse-Sud. On remarque ensuite une zone cultivée qui tombe par un talus, sorte de falaise morte sur



FIG. 4. — Les graus et l'ancien rivage de « La Vieille Nouvelle »- Photo I.G.N. Mission 2546, 1980  
 - 1 : grau actuel; 2 : ancien grau; a : ancien cordon; b : ancien rivage.

l'arrière plage du cordon B. Elle s'étire en pointe triangulaire vers le Nord; son pendant, étiré vers le Sud à partir du Cap Romarin est visible en haut de l'assemblage des photos. Tout à l'Ouest on distingue bien la falaise morte F; mais vers le Sud les lignes incurvées d'un cordon littoral intérieur D viennent se rattacher à la falaise de La Franqui. Les « mattes » argileuse d'un fond d'étang émergé sont nettement discordantes sur D.

Dans l'état actuel de la bibliographie, on identifie facilement les cordons B avec le rivage des XVII<sup>e</sup>-XVIII<sup>e</sup> siècles (cartes de Cassini ou de Noguès); des cordons D par contre sont très anciens, Thyrréniens. (Carte géologique).

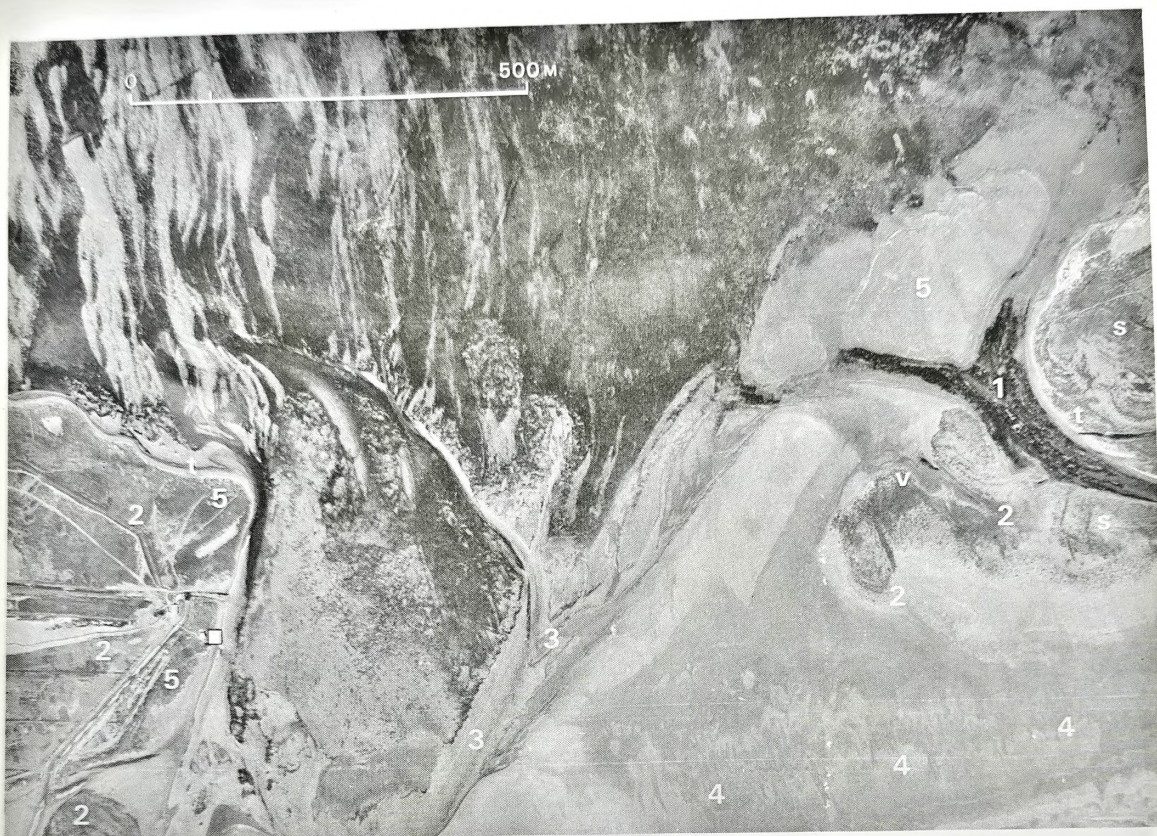


FIG. 5. — La complexité du système des graus de la Vieille Nouvelle — Photo Armée de l'Air, 1962. 1 : grau ancien; 2 : cordon ancien; 3 : grau actuel; 4 : cordon actuel; 5 : « radeau » d'argile; s : structures d'aménagements; t : tessons; □ : tour XVIII<sup>e</sup>.

Les cartes au 1/25 000 font culminer la flèche des Coussoules à 5 m sur des dunes et entre 2 m et 1 m sur la terrasse cultivée. En parcourant les vignes on remarque que le sable souvent chargé de coquilles franchement marines affleure partout, sauf dans les graus qui montrent des limons argileux gris. Il paraît donc raisonnable d'attribuer cette flèche marine culminant vers 2 m à un rivage du maximum holocène. Ainsi, on va pouvoir tracer précisément le rivage sur des photos à plus grande échelle.

Les images à grande échelle (fig. 7) (1/8 000, IGN 1962) de la partie méridionale montrent que l'objet étudié est fort complexe et qu'il présente une série de bandes claires (sables ?) et foncées (limons ou vases ?). On peut vérifier que l'ensemble est fossile, y compris les parties « B » proches du rivage actuel en comparant les photos de 1954 ou antérieures et celles de 1980 : les tracés sont parfaitement stables. Un profil de nivellement accompagnant une prospection de surface va permettre de caractériser les diverses taches, au moins les principales d'entre elles.

Le profil topographique (fig. 8 a) montre que les taches blanches sont en relief, les noires en cuvette, sauf la crête du talus de 1,30 m qui limite l'ensemble à l'Est. Ce détail ajouté à la forme du talus et des flèches à l'entrée de l'ancien grau suggère une falaise morte érodée par un stade B1 de la phase B. Accessoirement l'uniformité de direction des flèches montre que ce grau ne fonctionnait qu'en entrée de la mer dans l'étang.

Le cordon C1 était indubitablement rattaché à la falaise de La Franqui car on trouve dans sa partie méridionale des galets de calcaire qui en proviennent et une faune de cote rocheuse (gastéropodes dont *Murex*,



FIG. 6-a. — Photographies aériennes (I.G.N. 1959) : ensemble de l'Etang de La palme avec la flèche littorale des Coussoules au Sud et la pointe du « Rec des bains » au Nord.



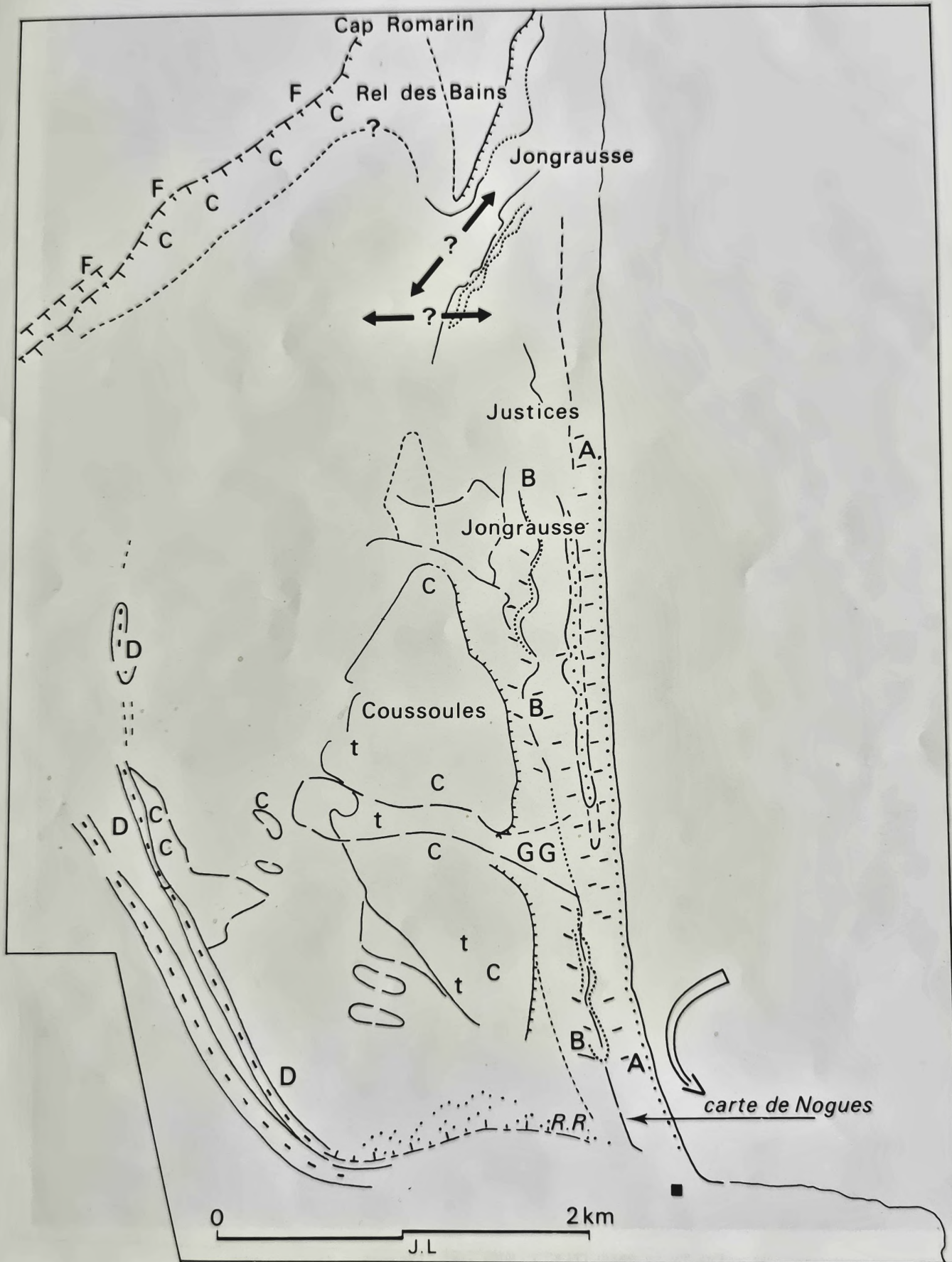


FIG. 6-b. — *Id.* Interprétation — A : cordon actuel; B : ancien cordon (rivage des XVII-XVIII<sup>e</sup>); 1 : La Franqui; Jongrausse Nord; 3 : Jongrausse Sud; C : terrasse des Coussoules; D : cordon littoral intérieur (tyrrhénien); F : falaise morte; t : tessons.



FIG. 7-a. — Photo I.G.N. 1 : 8000, 1962 - Les cordons des Coussoules.

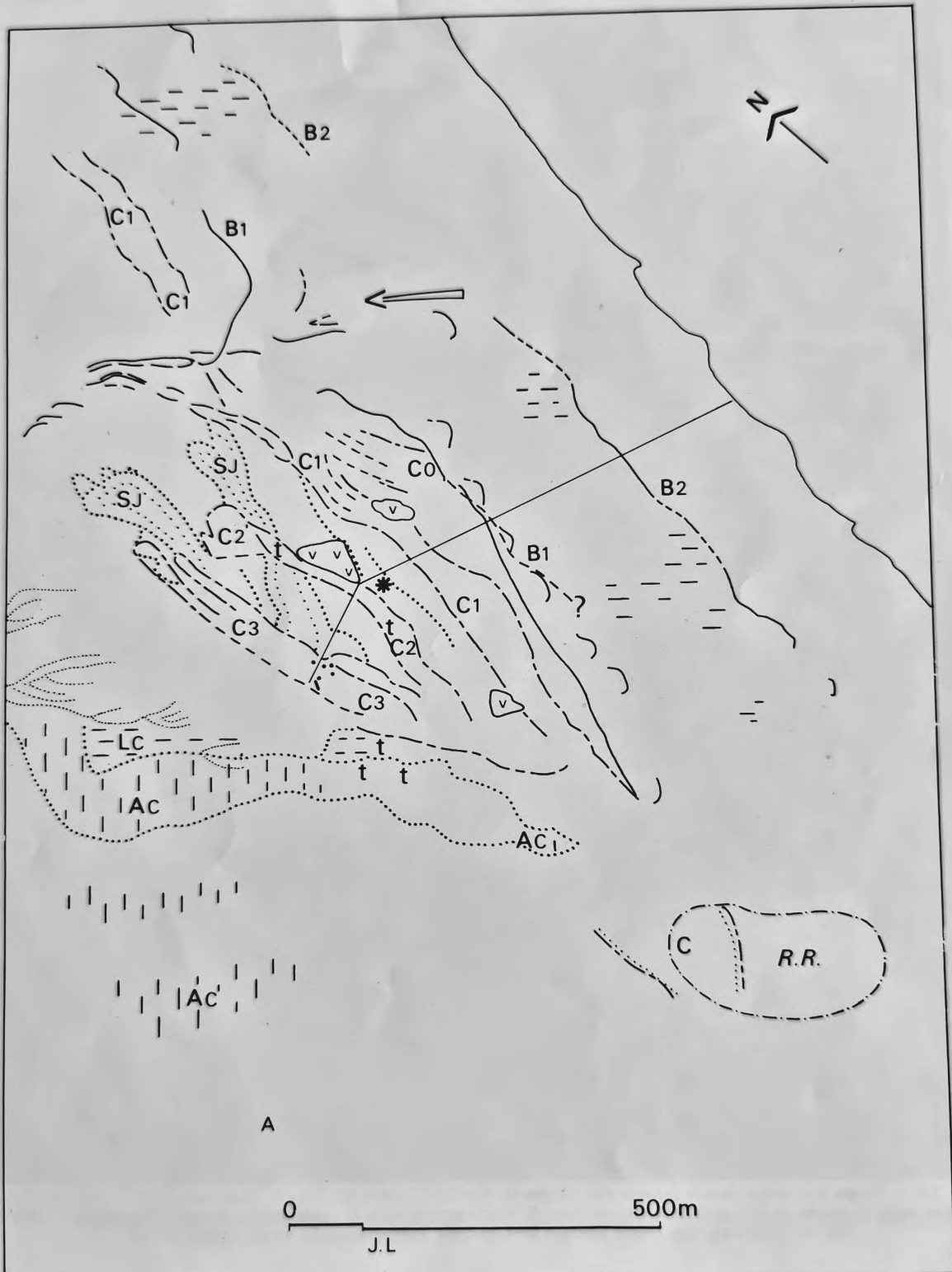


FIG. 7-b. — *Id.* Interprétation — (légende dans le texte et dans la fig. 8).

abondants...) dont l'abondance diminue vers le Nord au profit de très nombreux tests de lamellibranches. Le sable est assez grossier. C2 sur lequel abondent les lamellibranches de grande taille montre en surface (ou à côté sur la figure 7) des tessons antiques : sigillées et amphores dont un col à profil triangulaire. A l'extrémité occidentale du profil altimétrique, au carrefour, deux tranchées montrent une assez grande quantité de tessons bien datables (3<sup>e</sup> quart du 1<sup>er</sup> siècle P.C.). On note aussi la présence de plusieurs zones basses où les roseaux abondent : l'eau douce est proche.

Une série de sondages à la tarière (fig. 8 b) a montré que l'on trouvait plusieurs phases dans ces cordons, séparées par un niveau de grosses coquilles et de galets roulés ou, plus bas, par un niveau de sable grossier. Le dernier faciès, rencontré entre + 0,20 et + 0,40 NGF est une couche d'argile grise ou de limon sableux à nombreux débris végétaux (roseaux d'étang dessalé) qui surmonte une vase sableuse à coquilles lagunaires. Il semble s'étendre sous toute la terrasse des Coussoules et au-delà. Une fouille sur les parois et en approfondissant un peu les tranchées du carrefour a montré que les tessons non roulés étaient posés sur la vase de cet étang. Certains tessons éolisés montrent que l'étang s'asséchait... Ensuite apparaît au-dessus de 0,8 NGF la couche de sable marin très riche en coquilles des cordons; y abondent des tessons à bord usés ou même très roulés. Donc le système des cordons C1, C3 est post romain sans doute de peu.

On voit ici que l'interprétation de l'image aérienne sert plus à poser les questions qu'à les résoudre; mais en retour elle guide le travail de terrain en donnant précisément les lieux où les sondages seront plus fructueux.

Elle permet aussi de « spatialiser » une hypothèse stratigraphique locale. Les sondages du carrefour ont montré que les cordons à sable coquiller reposaient tantôt sur la série lacustre-lagunaire, tantôt sur une autre série sableuse grise débutant par un sable grossier jaune, sans doute un système de flèches plus ancien. On n'avait pas remarqué dans la première interprétation, mais on voit fort bien une série d'alignements moins clairs que les « C », que j'ai noté « SJ » sur la figure.

Enfin, d'un point de vue plus général, cet exemple montre que la permanence de la position approximative d'une ligne de rivage n'impose pas sa permanence physique; le jeu très rapide des mouvements relatifs de la terre et de la mer peut faire qu'au cours de deux millénaires seulement un « étang côtier » ait

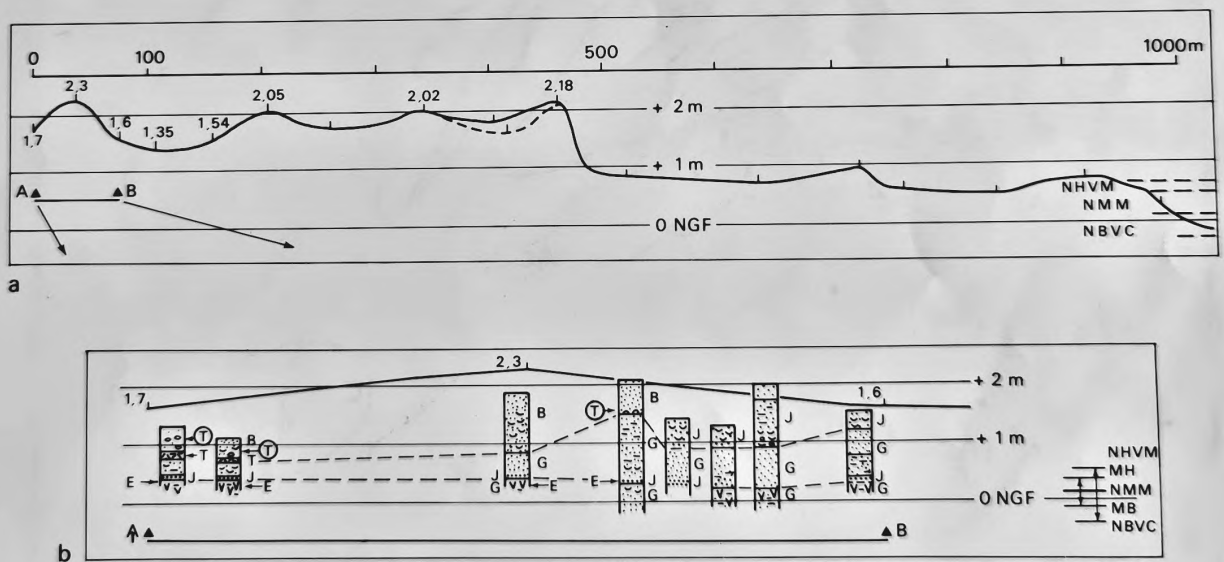


FIG. 8-a. — Profil topographique du cordon littoral des Coussoules, du talus et de la plage actuelle avec les cordons récents (XVIII<sup>e</sup> s.) et actuel - NMM : niveau moyen de la mer; NHVM : niveau haut par vent marin; NBVC : niveau bas par vent de Cers; MH et MB : marée haute et marée basse.

FIG. 8-b. — Coupes à la tarière dans la partie la plus occidentale (Cordon C3 de la fig. 7-b) - T : tesson non roulé; T (dans un rond) : tessons roulés; j : couche de sable grossier de couleur jaune; B : sable limoneux brun; G : sable argileux et argile sableuse grise; v : débris végétaux abondants dans l'argile plastique grise ou argile sableuse grise; E : niveau statique de l'eau.



FIG. 9. — Simulation d'image du Satellite SPOT, vol GDTA 1984, sur la région de Marennes - A gauche, résolution 20 m dans le proche IR (0,8 - 0,9  $\mu$ ), à droite résolution 10 m dans le canal panchromatique (0,5 - 0,7  $\mu$ ).

été, une lagune marine, un étang temporaire plutôt dessalé, puis un golfe dont le seuil (l'ancien cordon) devait être à peine visible en basses eaux (ceci deux fois), puis un cordon en accroissement en deux étapes au moins ! Ici pas de fleuve; jouent seulement les facteurs de niveau relatif, de climat et d'alimentation en sédiment littoral sur un cadre géographique assez immuable. Mais que dire de la complexité induite par la traduction par un fleuve d'aléas climatiques ou anthropiques qui ont lieu partout dans son bassin à des dizaines ou des centaines de kilomètres ? Je laisse rêver sur la partie occidentale de l'image n° 2 qui montre la complexité des relations entre les flèches d'embouchure du Grand Rhône de Saint-Ferréol, à l'ouest et au sud-ouest de l'étang de Vaccarès.

Ainsi, avec les images satellitaires la télédétection met en place les grandes unités que les photographies à grande échelle vont aider à analyser. Mais la technique de prise et le traitement d'images évoluent vite. Dès le début de 1986 les images du satellite SPOT avec une résolution de 10 m vont permettre de réaliser des interprétations qui étaient du ressort de la photo aérienne.

A titre d'exemple, une simulation d'image SPOT sur la région de la Pointe du Chapus près de Marennes et Oléron est présentée (fig. 9). A gauche l'image infrarouge avec une résolution de 20 m, à droite l'image panchromatique avec une résolution de 10 m. Au Nord comme au Sud de la pointe les lignes incurvées d'anciens rivages se dessinent parfaitement à travers l'organisation des parcs à huitres, comme sur une photo aérienne à petite échelle (1/63 000 ici).

L'intérêt des images satellitaires est de nous donner des vues de régions dont les photos aériennes sont difficilement accessibles ou indisponibles; actuellement avec Landsat MSS et même TM leur résolution était au-dessous de ce qui est nécessaire pour analyser convenablement les éléments linéaires.

Tableau comparatif des résolutions des images aériennes et spatiales

IMAGES	Landsat 4 TM	Landsat 4 MSS	SPOT XS	SPOT P	Photos IRC 1/60 000	Photos IRC 1/10 000
Résolution	30 m × 30 m	57 m × 79 m	20 m × 20 m	10 m × 10 m	3 m × 3 m	0,5 m × 0,5 m
Objets distincts (dimension minimale approximative)	15 m	20 m	10 m	5 m	1,5 m	0,25 m

Le tableau donne un panorama des divers satellites et de leur résolution comparé à celle des photos aériennes. Les bandes spectrales TM 2, 3, 4 ou MSS 4, 5, 7 ou SPOT, XS1, XS2, XS3 sont l'équivalent spectral des photos IRC. Cependant la possibilité de manipulation numérique permet une dynamique de couleurs incomparablement supérieure.

Désormais, l'interprétation des lignes de rivages des deltas historiques, le Nil ou l'Indus, des rivages de Cyrénaïque, d'Asie ou d'Iran va être à notre portée.

*Note de l'éditeur :* les illustrations ont été reprises et mises au net par J. Lenne, C.N.R.S.

#### RÉFÉRENCES

- GUY (M.), 1975. — Changements dans les voies d'eau naturelles, variations climatiques et variations du niveau moyen des mers. Actes du colloque du Léman à l'Océan, les eaux en Gaule, in *Caesarodunum*, 1975, n° 10, p. 95-101.
- GUY (M.), 1981. — Essai de reconstitution du rivage au nord-est de Gruissan, in Y. Solier et al. Les épaves de Gruissan, *Archaeonautica*, 3, 1981, p. 12-22.