

# LA CARTE ÉLECTRONIQUE : DÉFINITIONS ET PRINCIPES

Par Patrick SOUQUIERE, Ingénieur à l'Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

## Résumé

La carte est rapidement devenue un document thématique, carte de navigation, maritime, aérienne ou routière, lorsque la densité des informations disponibles a conduit le cartographe à choisir celles qui seraient représentées.

Le nombre et la diversité des données qui doivent aujourd'hui être gérées par le navigateur, dans certaines situations délicates, montre cependant que la carte papier n'est pas le support le mieux adapté à la transmission rapide d'une information claire.

La carte électronique, sans doute ultime évolution de la carte papier, devrait permettre de communiquer à l'utilisateur, non seulement une synthèse des informations nécessaires à un moment donné mais aussi, grâce à la base de données qui lui sera associée, l'intégralité des informations utiles à la navigation.

Ce progrès serait cependant bien mince, si l'on n'envisageait pas d'ajouter à un tel système de visualisation d'autres fonctions essentielles aux yeux du navigateur, comme le report automatique de la position du navire et des mobiles environnants, de la route suivie, ou même le calcul de l'écart à la route prévue ou celui de l'heure d'arrivée à un endroit donné.

S'agit-il alors d'une carte, et n'est-ce pas plutôt un système électronique de visualisation des informations de navigation ?

## ◆ La carte électronique : définitions et principes

### ■ Introduction

Définir ce qu'est exactement une carte électronique est une tâche ardue dans la mesure où, à ma connaissance, il n'existe pas encore de définition qui puisse être considérée comme "officielle".

Dans le domaine de la navigation maritime l'acronyme anglais ECDIS (pour Electronic Chart Display and Information System), qui devient en français SEVCM (pour Système Electronique de Visualisation de Carte Marine), et dont l'usage se répand doucement, a néanmoins été ainsi à peu près explicité par des organisations internationales :

- par l'Organisation Maritime Internationale (OMI)  
"les SEVCM" sont en train de devenir des systèmes de navigation entièrement nouveaux, et paraissent être en mesure d'accroître la sécurité de la navigation."

"les SEVCM nécessitent encore des développements dans de nombreux domaines..."

- par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI)  
"Un SEVCM est un système qui ...(peut)... intégrer toutes les aides à la navigation en un seul système."

"... le système doit être considéré comme l'équivalent légal de la carte papier..."

"un SEVCM et une carte papier ne doivent pas nécessairement être identiques en apparence."

C'est dire que l'on n'a rien défini, et que l'on ne sait toujours pas à quoi sert un SEVCM ni comment on s'en sert.

Ce n'est cependant pas par hasard que des organisa-

tions internationales telles que l'OMI ou l'OHI ont été amenées à se préoccuper de SEVCM, ou plus prosaïquement de cartes marines électroniques. Diffusés par les industriels, qui répondent à la demande des usagers, ces systèmes sont déjà en train de proliférer, en particulier sur les navires de pêche et sur les bateaux de plaisance.

C'est pour cette raison que, dans la suite de cet exposé, je ne parlerai que de cartes marines électroniques ; mais ce que je vais dire pourrait sans doute, mutatis mutandis, s'appliquer aussi aux cartes routières électroniques, et aux cartes aériennes électroniques, ou d'une manière plus générale aux cartes de navigation.

Une carte électronique, c'est d'abord une carte, nous commencerons donc par examiner cet aspect de la chose.

### ■ La carte

La carte est un moyen de communication, conçue pour transmettre un message. Ce message est d'abord un message de localisation, permettant l'évaluation des distances et des orientations (1), c'est aussi un message d'information sur l'environnement, les objets et leur forme.

Au fil des ans, les progrès techniques aidant, le message de localisation s'est précisé, tandis que le nombre et la diversité des informations disponibles sur l'environnement augmentait considérablement. Pour que le message d'information demeure compréhensible, il a donc fallu choisir les objets qui devaient être représentés, en fonction de leur rôle ou de leur importance dans le message. La carte marine est ainsi

devenue un document thématique, sur lequel ne sont plus figurés aujourd'hui que les objets susceptibles d'intéresser les marins.

Document de synthèse, destiné à toutes les catégories d'usagers de la mer, la carte marine peut néanmoins, dans certains cas, porter une telle quantité d'informations que le message correspondant n'est plus perceptible. Or, la clarté de ce message conditionne dans une grande mesure la sécurité.

Pour illustrer ce propos, il suffit de comparer une carte de l'entrée de la Tamise, publiée à la fin du siècle dernier (cf. fig.1), avec une carte internationale récente (cf. fig. 2).

Le moins que l'on puisse dire est que le message transmis aujourd'hui est complexe. L'apport de la couleur facilite bien sûr la lecture, mais ce dernier document, s'il convient pour faire la préparation d'une traversée, est beaucoup trop chargé pour permettre le contrôle de la navigation en route dans des conditions satisfaisantes.

Ce fait n'a pas échappé au service hydrographique britannique, responsable de l'élaboration de cette carte, puisqu'il publie aussi une autre carte à plus grande échelle pour couvrir cette même région (cf. fig. 3).

On touche ici aux limites de la carte papier, qui comporte un volume d'informations directement conditionné par l'échelle. Or, si l'on y regarde de plus près, les informations qui figurent sur une carte marine ne sont pas utiles à tous et ne sont pas toutes utiles en même temps. On peut donc imaginer d'alléger le contenu de la carte papier traditionnelle, en cherchant à répondre aux besoins particuliers d'un navigateur dans une situation donnée.

Le changement d'échelle, la sélection des informations, voici déjà deux bonnes raisons pour faire intervenir l'électronique.

## ◆ L'électronique

Examinons maintenant en détail les deux problèmes qui viennent d'être cités avant d'envisager d'autres applications de l'électronique.

Il ne faudrait pas déduire trop rapidement de ce qui va suivre que l'électronique n'apporte que des avantages.

La technologie d'aujourd'hui ne nous offre en effet que des écrans trop petits, donnant de l'environnement immédiat une vision étriquée ; et la faible résolution de ces mêmes écrans ne permet pas encore de tirer le meilleur parti de l'allègement qui vient d'être évoqué.

### ■ Choix de l'échelle

Lorsqu'un navigateur change la carte qu'il utilise, pour une autre carte à plus grande échelle, il cherche à satisfaire deux besoins :

- obtenir un message de localisation plus précis, lui permettant par exemple de reporter des positions plus nombreuses, ainsi que des informations localisées qui lui sont propres ;

- disposer d'un message d'information plus complet sur l'environnement, c'est-à-dire de plus d'objets et d'un

plus grand nombre de détails sur chacun d'eux.

Une fonction du type "zoom" répond parfaitement au premier besoin, mais la satisfaction du second ne peut être aujourd'hui envisagée si l'on ne dispose pas du contenu d'une autre carte, déjà élaborée à plus grande échelle.

### ■ Sélection des informations

Le détail des caractéristiques d'un feu de navigation n'est en général pas utile de jour ; la connaissance détaillée des petits fonds bordant les côtes n'est normalement pas utile aux gros navires. On voit donc apparaître deux possibilités de sélection liées :

- aux circonstances ;
- à la catégorie de l'usager.

A titre documentaire, on a allégé le contenu de la carte internationale représentant l'entrée de la Tamise pour illustrer ce qu'il était possible de faire.

La figure 4, directement dérivée de la figure 2, a été conçue pour répondre aux besoins d'un petit navire, habitué des lieux, faisant route de jour et par bonne visibilité. La carte initiale a ainsi pu être allégée dans les domaines suivants :

- toponymie
- feux et signaux de brume
- câbles sous-marins, conduites sous-marines, épaves et obstructions dont la profondeur, connue, est supérieure à dix mètres
- natures de fond
- limites diverses des zones dans lesquelles n'existe aucune restriction.

La figure 5 comporte les informations supplémentaires qui seraient ajoutées si, au lieu de faire route, le navire cherchait un emplacement pour mouiller.

### ■ Couleur

Le nombre des couleurs qui apparaissent aujourd'hui sur les cartes papier, comme l'usage qui en est fait, est volontairement limité pour réduire les coûts de production, et surtout les difficultés de tenue à jour. Or, la couleur, élément important du message d'information, est très facile à saisir lorsqu'elle n'est pas codée.

Sur la figure 4, les couleurs des bouées ne sont ainsi pas codées mais portées directement sur le symbole.

Sur la figure 6, on a complété le contenu minimal précédemment défini de manière à permettre une navigation de nuit, et les couleurs des feux sont de la même façon portées sur les enluminures, où elles remplacent la couleur magenta traditionnelle. Pour éviter la présence d'une image éblouissante sur la passerelle d'un navire de nuit, le contenu de la carte apparaît cette fois en négatif.

### ■ Continuité

Malgré tout le soin apporté par le cartographe au choix des limites d'une carte, il se trouve toujours des usagers pour contester le bien fondé de la solution retenue. Cette contrainte est supprimée par la possibilité qui est offerte de faire apparaître sur la même image les contenus de deux cartes adjacentes, ou de compléter le contenu

d'une carte à grande échelle par celui d'une carte à plus petite échelle (2).

### ■ Mise en évidence d'une information

Il est aisé de retrouver sur une carte une information localisée lorsqu'on connaît ses coordonnées ; mais tous ceux qui ont exploré le contenu d'une carte, pour trouver un objet identifié par son nom, sans connaître sa position, apprécieront de voir clignoter, apparaître en surbrillance ou changer de couleur, l'objet qu'ils recherchent.

### ■ Choix de l'orientation

De façon à peu près systématique, les cartes sont établies avec le Nord en haut et le Sud en bas. Cette convention est bien utile car elle permet d'accélérer la compréhension du message. Elle est par contre bien mal commode quand on cherche à retrouver, devant soi sur le terrain, les objets cartographiés, et bien désagréable quand on est face au Sud ou que l'on fait route vers le Sud.

Les problèmes qui doivent encore être résolus, pour laisser à l'utilisateur le libre choix de l'orientation de l'image qu'il a sous les yeux, ne doivent pas être sous-estimés ; quelques uns sont illustrés sur la figure 7.

### ■ La base de données

Nous venons de décrire certaines fonctionnalités d'un système électronique, strictement limité à la visualisation de cartes marines. Un tel système ne peut cependant fonctionner sans une base de données digitales reprenant, au minimum, le contenu des cartes marines existantes. Il ne peut être question, au vu de certaines des fonctions qui viennent d'être décrites, de constituer cette base de données en analysant les cartes actuelles à l'aide d'un scanner.

On va donc, en principe, s'orienter vers une base de données graphiques en mode vecteur, obtenue en numérisant les cartes existantes. Cette approche pose néanmoins deux problèmes, celui de la cohérence aux différentes échelles, et celui du contenu nautique.

### ■ Cohérence aux différentes échelles

Un même objet peut figurer sur des cartes établies à des époques différentes et à des échelles différentes ; or, il est souhaitable qu'il ne soit décrit qu'une seule fois en tant qu'objet dans la base de données, pour faciliter la tenue à jour et pour limiter le volume de la base. Au lieu de se lancer dans le numérisation aveugle et systématique d'un portefeuille de cartes marines hérité du passé, il semble donc préférable de constituer une collection des objets portés sur la carte, en commençant par ceux qui figurent sur les cartes à la plus grande échelle.

A chacun de ces objets sont ensuite associées différentes images graphiques qui peuvent être sélectionnées par un cartographe en fonction des échelles de représentation autorisées a priori par le système, et de l'environnement de l'objet, ou bien définies automatiquement par un logiciel de généralisation automatique,

ou encore par un système expert (cf. fig. 8). La base ainsi constituée est ensuite progressivement complétée par les objets représentés sur les cartes à plus petite échelle, jusqu'à couvrir l'ensemble d'une zone.

### ■ Contenu nautique

La procédure qui vient d'être décrite présente cependant l'inconvénient de perpétuer les "erreurs" du passé. Si l'on fait abstraction des canevas de Mercator, rares sont en effet les documents nautiques sur lesquels n'apparaît aucun élément terrestre. Cette habitude, justifiée il y a encore peu de temps, conduit par exemple à ne figurer la partie centrale de la Mer du Nord que sur des cartes à l'échelle 1/750 000, insuffisante pour représenter toutes les informations connues, et plus particulièrement les obstacles à la navigation que constituent les installations pétrolières.

De la même façon, certaines routes en eaux profondes sont représentées à des échelles incompatibles avec la navigation en eaux resserrées, qu'impose leur faible extension, alors que la bathymétrie y est connue de façon très détaillée.

Qui n'a regretté, par ailleurs, en utilisant une carte marine, de devoir rechercher des informations complémentaires dans d'autres ouvrages, comme par exemple un livre des feux, une instruction nautique, un ouvrage sur les radiosignaux ou les radiocommunications, etc...

Si la place disponible dans la base de données n'est pas limitée, rien n'empêche, en fait, d'y introduire la plus grande partie des informations qui figurent actuellement dans les ouvrages, afin de les rendre beaucoup plus facilement accessibles.

### ■ Constitution

C'est parce que la carte marine est considérée, à juste titre, comme un élément essentiel à la sécurité de la navigation, que son élaboration et sa diffusion sont des activités qui incombent traditionnellement à l'Etat.

Il n'est pas envisageable, dans ce contexte, d'abandonner à l'industrie privée le soin de créer des bases de données disparates, nécessaires au fonctionnement des SEVCM qui sont commercialisés.

Les services hydrographiques sont donc aujourd'hui en train de coordonner leurs efforts, en vue de définir précisément le contenu d'une base de données qui pourrait être considérée comme l'équivalent légal de la carte papier. Une fois le contenu défini, il conviendra encore de se mettre d'accord sur un format d'échange, permettant aux différents services hydrographiques nationaux de constituer une base de données régionale, officiellement reconnue par les instances internationales, dans laquelle les industriels viendraient puiser les informations qu'ils souhaitent visualiser.

### ■ Intégrité.

C'est sur le contenu de la base de données élaborée par les services hydrographiques, dont ils gardent l'entière responsabilité, que repose la notion de sécurité

évoquée plus haut. L'intégrité de la base doit donc être préservée, et son contenu ne doit pas pouvoir être modifié par l'utilisateur.

En attendant que les bases de données embarquées puissent être automatiquement mises à jour, au moyen de liaisons satellitaires par exemple, il convient quand même que le marin puisse exploiter les informations qu'il aurait normalement portées sur une carte papier traditionnelle.

On voit ainsi qu'à côté de la base de données "cartographique", doit exister une base de données "utilisateur", créée et gérée par le marin, et dans laquelle pourraient figurer, au minimum, les informations qui selon l'usage établi n'impliquent pas de correction à la documentation nautique, ainsi que le résultat de la préparation de traversée, c'est-à-dire la trace des routes à suivre (cf. fig.9)

## ◆ L'environnement de la carte

En navigation, la carte est le support privilégié sur lequel le marin exploite les informations fournies par les nombreux capteurs qui l'entourent. Nous allons donc voir comment il est possible de tirer parti d'un SEVCM pour simplifier la tâche du chef du quart.

### ■ Position

A la mer, le premier souci du chef du quart est de suivre la progression de son navire, soit en déterminant directement sa position sur la carte, soit en y reportant la position fournie par un système de localisation.

Dans le premier cas, il est généralement en mesure d'apprécier la précision de la position obtenue, tandis que dans le second cas, et en l'absence d'autres indications, il ne peut que se fier à la précision intrinsèque du système utilisé.

La plupart des systèmes de localisation actuels fournissent une position par ses coordonnées géographiques, dans un système géodésique choisi a priori. Il est donc très tentant d'asservir directement sur l'écran du SEVCM la position du navire aux coordonnées calculées par le récepteur de radiolocalisation. La précision du système GPS paraît suffisante pour répondre à la plupart des besoins, avec éventuellement l'apport du mode différentiel pour la navigation en eaux resserrées ou aux abords immédiats des ports ; mais, pour de nombreux autres systèmes, et en particulier à l'aide de terre, doit être préservée la possibilité de "graphiquer" une position avec les méthodes usuelles pour contrôler la position affichée.

### ■ Radar

La superposition à la demande, sur l'image de la carte visible sur le SEVCM, de l'écran du radar rapporté à la position calculée par le récepteur de radiolocalisation permet, d'un simple coup d'oeil, d'évaluer la qualité du positionnement. Certains échos obtenus à l'aide du radar doivent en effet pouvoir être corrélés avec des objets visibles sur l'image, côte ou balisage par exemple. Cette corrélation ayant été vérifiée, il est aisé de contrôler que les manoeuvres anti-collision préparées

directement sur l'écran du radar sont compatibles avec l'environnement nautique.

### ■ Cap et vitesse

Outre la position instantanée, il est intéressant de faire apparaître sur l'écran du SEVCM la route prévue, la route suivie et le vecteur vitesse en surface, ou le vecteur vitesse sur le fond. Ces dernières informations peuvent être données au choix sous forme graphique, ou sous forme alphanumérique.

On voit ainsi apparaître une possibilité d'alerte automatique lorsque la position estimée conduit le navire dans une zone dangereuse, ou plus simplement dans une zone de restriction, et lorsque l'heure probable d'arrivée à un endroit donné peut ne pas être respectée.

### ■ Profondeur

Dans les mers où la marée n'est pas négligeable, la comparaison de la profondeur instantanée, mesurée à l'aide du sondeur, avec la profondeur estimée sur la carte, n'est pas d'un grand intérêt lorsque la marée n'est pas connue ; or, la marée pourrait bientôt être soit calculée à bord en fonction de l'heure et de la position (3), soit transmise depuis la côte ou une infrastructure au large par un système électronique.

Rien n'empêche par ailleurs d'imaginer le remplacement des profondeurs discrètes et des courbes isobathes qui sont figurées sur les cartes traditionnelles, et imposées par le cartographe, par des courbes issues d'un modèle numérique de terrain, choisies par le marin en tenant compte de la marée.

Des hypothèses simplistes sur l'évolution de la profondeur peuvent aussi être envisagées pour provoquer des alertes automatiques a priori plus efficaces que celles qui existent aujourd'hui sur certains sondeurs.

### ■ Autres capteurs

Le nombre des capteurs qui peuvent être connectés à un système électronique, à bord d'un navire, n'est sans doute pas limité. L'heure n'a pas été citée, car elle est générée par la plupart des systèmes électroniques, et ne peut être dissociée de la position sur un mobile. Mais il faut prendre garde à ne pas transformer le SEVCM en un système de commandement à la mer regroupant les informations en provenance de tous les capteurs existants, possibles et imaginables ;

- roulis et tangage pour évaluer la fatigue du navire et le stress de l'équipage ;
- vitesse et direction du vent pour évaluer et éventuellement compenser la dérive ;
- température de surface pour prévenir de l'approche d'un iceberg ;
- couple moteur pour évaluer les surconsommations ;
- etc...

Si l'on acceptait néanmoins le raccordement au SEVCM de capteurs "folkloriques", je proposerais volontiers un récepteur d'images satellitaires pour obtenir des informations sur l'environnement météorologique et permet-

tre ainsi une éventuelle modification du tracé des routes prévues.

## ◆ Conclusion

La carte électronique, telle qu'elle vient d'être décrite, serait donc un système électronique de visualisation des informations de navigation, conçu pour faciliter la tâche de l'officier chef du quart, et destiné à remplacer un jour la carte traditionnelle sur papier.

La réduction du nombre des personnels de quart sur les navires justifie ainsi, à elle seule, l'existence de cette aide à la navigation d'un type nouveau, ainsi que les efforts entrepris pour l'améliorer, et en faire un jour

l'équivalent légal de la carte papier. On peut néanmoins craindre qu'elle ne puisse en devenir l'équivalent fonctionnel tant que n'auront pas été mis au point des écrans graphiques couleurs à haute résolution, de dimensions convenables et de prix acceptable, ce qui laisse vraisemblablement du temps aux services hydrographiques responsables, pour constituer les bases de données régionales nécessaires au fonctionnement de ces aides nouvelles.

Quand les problèmes techniques seront réglés, il sera sans doute nécessaire de se pencher sur les problèmes philosophiques qui ne manqueront pas d'apparaître, en définissant la limite entre ce qui est du domaine du logiciel, et ce qui doit rester de la compétence du navigateur.

---

## NOTES

(1) Contrairement à une opinion répandue, les portulans, aussi appelés "cartes à rumbs" parce qu'elles comportent un ensemble de roses des vents régulièrement réparties autour d'une rose centrale, sont porteurs de ce premier message.

(2) Les limites de la zone montrant le contenu de la carte à plus petite échelle apparaissent dans ce cas sur l'image, avec un message de mise en garde appelant l'attention sur l'imprécision relative de ces données complémentaires.

(3) Les services hydrographiques des pays riverains de la Mer du Nord examinent la possibilité d'élaborer un modèle numérique régional de la marée, répondant à ce besoin.

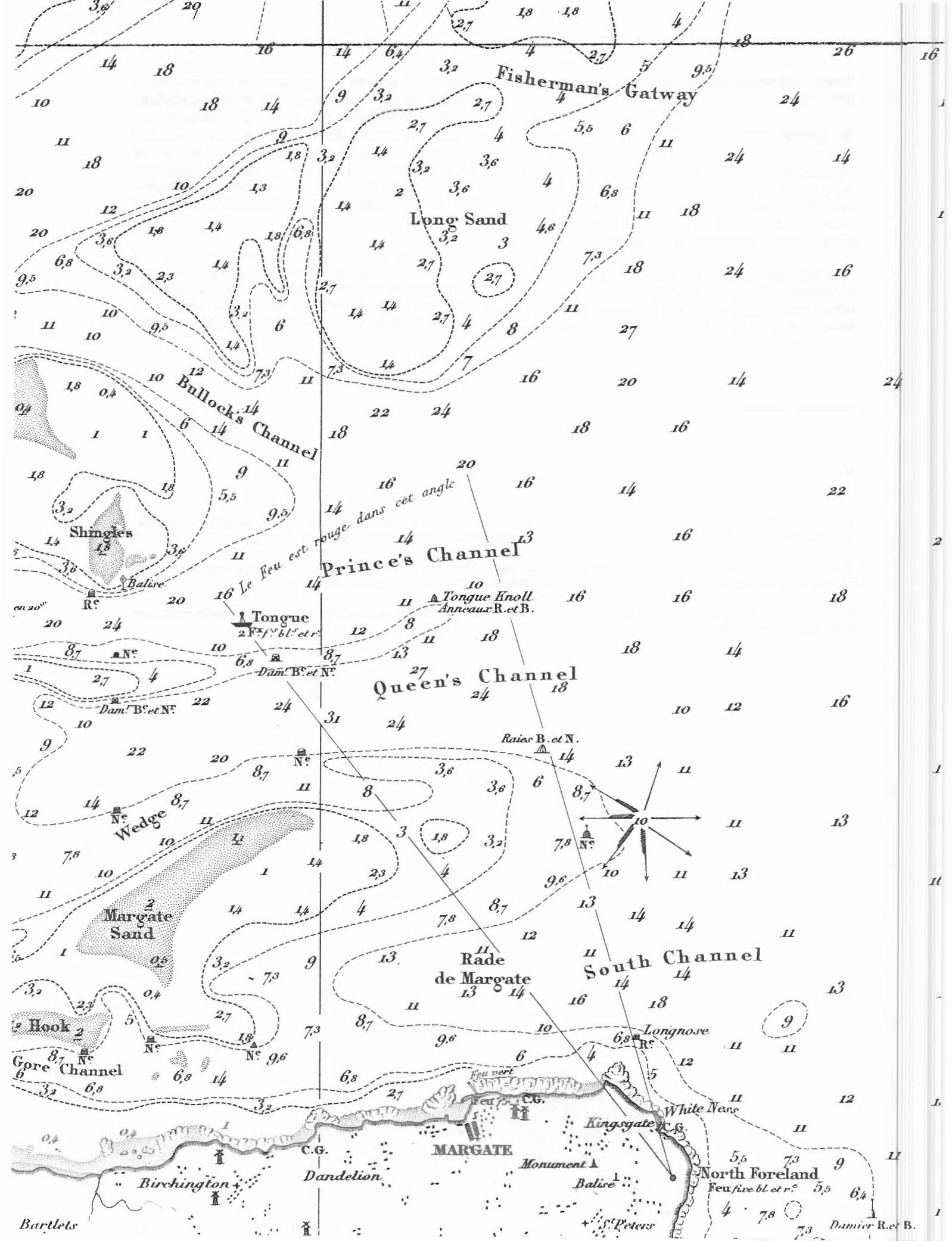


Fig. 1 : La carte ancienne

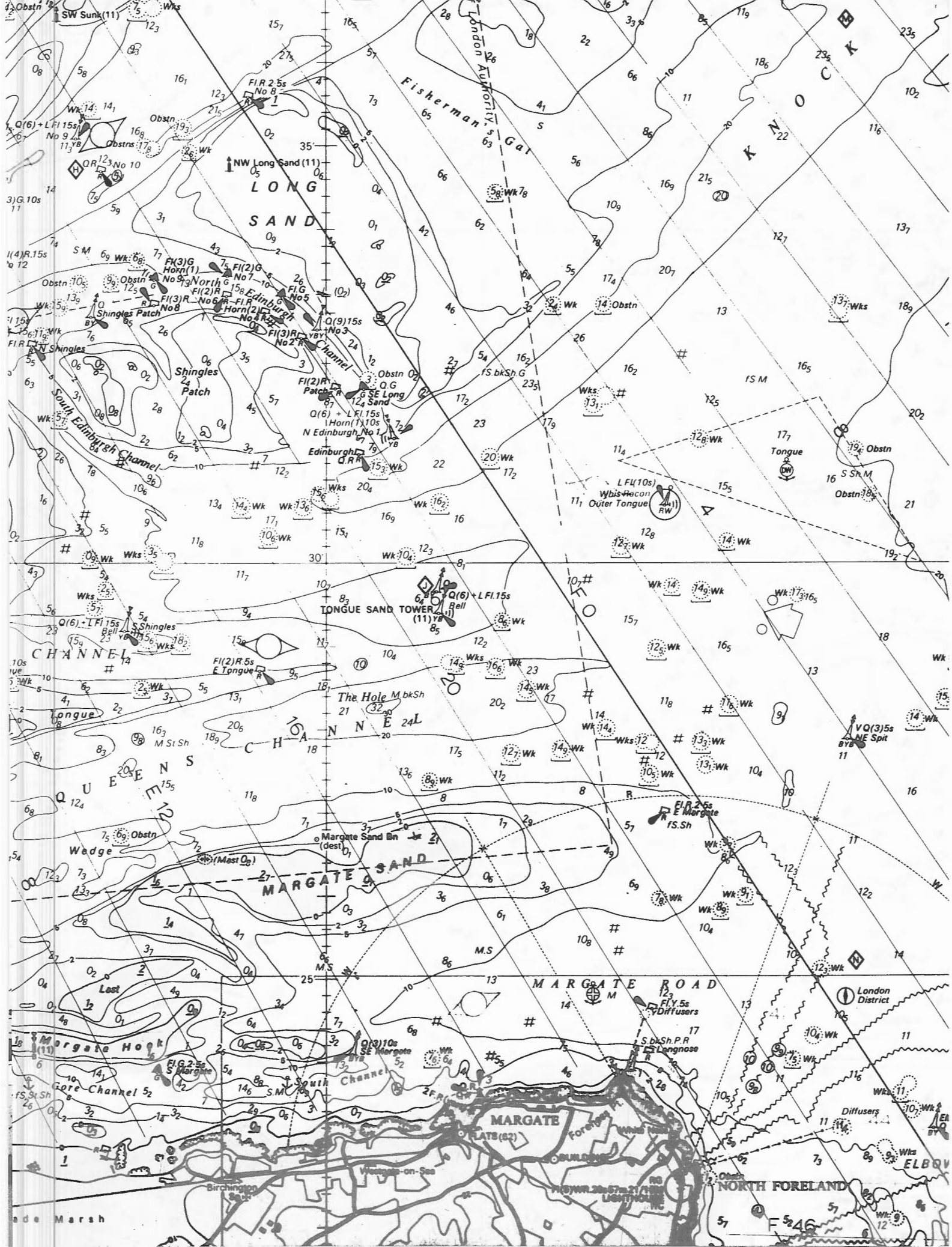


Fig. 2 : La carte au 1:100 000





# Le choix de l'orientation

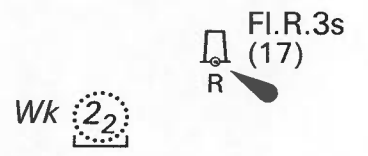
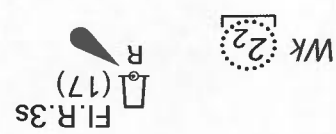
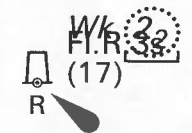


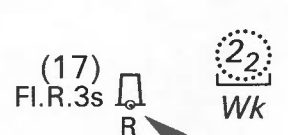
|  |   |   |
|--|---|---|
| <p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">En route au Nord</p> |    | <p>Image normale associée à la représentation le Nord en haut</p>                           |
| <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">En route au Sud</p>  |    | <p>Image préconisée par l'OHI</p>   |
| <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">En route au Sud</p>  |   | <p>Image obtenue en redressant chaque objet</p>   |
| <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">En route au Sud</p>  |  | <p>Image obtenue en redressant séparément chaque composante de l'objet</p>                  |
| <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">En route au Sud</p>  |  | <p>Cas identique au précédent avec utilisation d'un symbole ayant un centre de symétrie</p> |
| <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">En route au Sud</p>  |  | <p>Image spécifique associée à la représentation le Sud en haut</p>                         |

Fig. 7

# La généralisation cartographique


| Échelle de visualisation | Images associées à un même objet    |   |
|--------------------------|-------------------------------------|---|
| 1 : 20 000               | Créac'h ★<br>FI(3).WRG.15s21m15-11M | ⊙ TOWER   |
| 1 : 100 000              | ★<br>FI(3).WRG.15s15-11M            |  |
| 1 : 500 000              | FI(3) ★<br>15s15M                   | ⊙ Tr  |
| 1 : 2 500 000            | ★ FI(3)15M                          |   |
| 1 : 12 500 000           | ★                                   |   |

Fig . 8

La généralisation cartographique

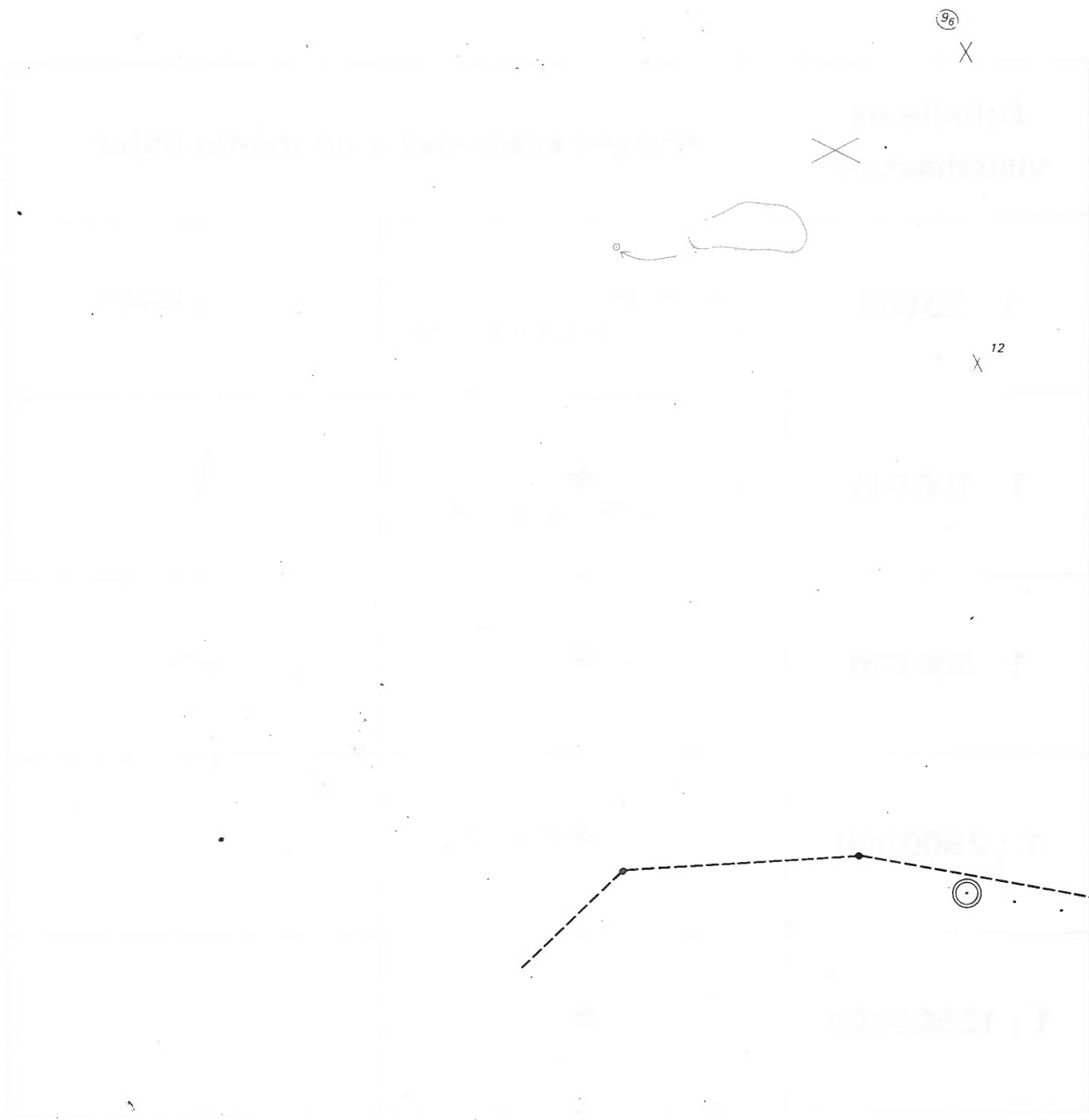


Fig. 9 : Mise à jour provisoire