

PROBLÈMES DE MÉTHODE EN PHOTO-INTERPRÉTATION

max guy

Institut Français du Pétrole.

Les auteurs exposent quelques problèmes de méthode en photo-interprétation et attirent l'attention sur les possibilités très larges de généralisation à de nombreux problèmes sans liens apparents, d'où les possibilités très larges d'intervention de la photo-interprétation dans des disciplines très variées.

Ils concluent en soulignant l'intérêt d'un langage commun, d'une présentation standardisée et très mobile des résultats des différents groupes d'utilisateurs, afin de faciliter les confrontations et annoncent l'effort que veut faire en ce sens la nouvelle Revue internationale *Photo-Interprétation*.

The authors bring forward some problems of method concerning photo-interpretation. They draw attention on the vast possibilities of generalization of this technique for solving numerous problems with no apparent connections, thus underlining the possibility of photo-interpretation to intervene in most varied branches.

In conclusion, stress is laid on the need for a common language and a standardized flexible production of the results obtained by the various categories of users, which would facilitate confrontations. These are some of the targets of the new international periodical *Photo-Interpretation*.

Los autores presentan algunos problemas de método en foto-interpretación y llaman la atención sobre las posibilidades muy amplias de generalización en numerosos problemas que aparentemente no poseen relación alguna, de donde las posibilidades muy amplias de la foto-interpretación en disciplinas muy variadas.

Terminan subrayando, el interés de un modo de expresión común, de una presentación, según un modelo único pero adaptable, de los resultados de los distintos grupos de utilizadores, con el fin de facilitar las confrontaciones, anunciando el esfuerzo que la nueva Revista internacional *Photo-Interpretation* quiere hacer en este sentido.

Lorsqu'une technique d'étude s'applique à un nombre d'objets de plus en plus variés, on peut se demander quelle est la propriété commune à tous ces objets qui les met dans le champ d'application de la méthode. Cette « philosophie » permet ensuite d'étendre le procédé à l'étude de tout objet présentant la propriété.

Mais, pour entreprendre cette généralisation, il faut que le problème « soit mûr », c'est-à-dire qu'on ait réuni un nombre d'éléments suffisant, que l'utilité de l'examen apparaisse à quelques-uns et qu'ils aient les moyens de le faire. On peut cependant toujours se poser la

question : « Où en est-on ? », ou, si l'on veut « Le problème mûrit-il ? »

L'interprétation des photographies aériennes, qui n'était au début qu'un complément de la topographie, joue un rôle de plus en plus grand dans des domaines de plus en plus éloignés de ses origines.

Le premier stade de l'interprétation, le plus simple, est celui de l'inventaire rapide, par photo-aérienne, d'objets connus au sol.

On veut par exemple faire la carte d'un habitat ou de voies de communications ou de la végétation : on va apprendre à reconnaître sur les

photographies les maisons, les routes, les espèces d'arbres et dessiner, en les représentant par des signes conventionnels, une carte de leur répartition. Ce type d'interprétation est sans doute techniquement très utile : il permet d'accélérer les travaux de cartographie, de comptage ou de mesure ; mais, bornée à cela, la photo-interprétation ne permet pas de dépasser les connaissances acquises au sol. On trouve cependant dans cette méthode quelques types de raisonnements logiques qui, généralisés, permettent d'aller beaucoup plus loin.

Examinons la structure d'une interprétation à ce stade que l'on pourrait appeler « d'identification ».

Sur la photographie interprétée n° 1 (1), on identifie des maisons ou des arbres parce qu'on les « reconnaît ».

« Nous appelons l'objet de tel nom si, et seulement si, il présente telle forme ».

Ou « soit C la classe de tous les objets présentant telle forme, l'objet x appartient à la classe C s'il présente cette forme ».

Ainsi, par le principe même de notre technique, nous sommes condamné à n'envisager les objets que par leur « forme », un peu comme la musique ne peut envisager les objets que par des sons.

A chaque objet, à chaque point matériel ou assemblage de points considérés en bloc, nous attribuons une forme et inversement, quand nous voyons une forme, nous estimons qu'elle recouvre un objet. Autrement dit, à l'espace des objets nous associons un espace isomorphe, celui des formes.

Ce problème de l'identification est résolu si les classes définies dans l'espace des objets s'appliquent sur les classes définies dans l'espace des formes, c'est-à-dire s'il existe une correspondance biunivoque entre les objets et les formes. Or, l'expérience montre que nous ne savons pas toujours trouver une telle correspondance.

Dans le cas de l'exemple il n'y a pas de problème pour les maisons. Mais nous avons désigné les arbres par des signes conventionnels : + ou · ou o en pensant qu'ils appartenaient à la même espèce. Nous spécifions donc notre postulat de départ :

« Pour des arbres, ils appartiennent à la même

espèce si, et seulement si, ils ont la même forme. »

Et nous nous rendons vite compte que ce n'est pas toujours vrai (en vérifiant au sol par exemple). Pourquoi ? C'est parce que l'espèce est définie par des propriétés qui nous sont inaccessibles sur la photo et que la forme, vue d'avion, n'est pas une propriété capable de définir des classes recouvrant exactement les espèces.

On pourra d'ailleurs se poser le problème théorique de la possibilité de l'existence de telles relations.

Mais, dans l'état actuel des choses, il est évident qu'on ne peut pas limiter l'interprétation des photographies aériennes à la recherche de ces relations qu'on appelle souvent « clés d'interprétation ». Il n'est pas inutile de publier des recueils de formes types, mais il ne faut pas plus les appeler « Manuel d'interprétation » qu'on oserait appeler le Petit Larousse « Traité de la langue française ».

Ceci dit, nous reprenons notre exemple et nous constatons que, dans certains cas, si un arbre ressemblait autant au + idéal qu'au · ou o, nous l'avons quand même dessiné + sans hésitations parce qu'il était dans un groupe de +.

Nous faisons donc intervenir un critère autre que celui de la relation forme-objet. C'est à peu près : ayant constaté que les arbres étaient groupés par classes de forme, si l'identification de l'un d'entre eux est douteuse, nous disons qu'il appartient à la même classe que ceux du groupe environnant.

Si les arbres étaient répartis au hasard, nous ne pourrions faire ce raisonnement. Et mieux, notre raisonnement est d'autant plus valide que les arbres présentent un groupement plus ordonné : un chêne-liège dans un « verger » d'oliviers est plus improbable qu'un chêne-liège dans un « bois » d'oliviers sauvages.

Autrement dit un arrangement d'objets est d'autant plus significatif qu'il est plus improbable dans son environnement.

On reconnaît dans cette constatation expérimentale une spécification de la définition générale de la quantité d'information, qui est liée à la notion d'entropie : un système apportera d'autant plus d'information que sa configuration sera moins probable (1).

Cette définition du critère d'environnement nous permet de revenir en arrière et de généra-

(1) En annexe, dans le fascicule de la revue « Photo-Interprétation ».

(1) SHANNON (C. E.). — A mathematical theory of communication. *Bell System, Technical Journal*, juil.-oct. 1948, vol. 27.

liser la notion de « Forme ». En effet, nous avons négligé de définir ce que nous entendions par forme, nous contentant du sens intuitif du mot : ce qui permet de distinguer deux objets au moyen de la vue.

En fait, quand nous disons que nous avons vu une forme sur une photo, cela peut vouloir dire que nous reconnaissons une configuration connue, ou que nous voyons quelque chose à quoi nous ne nous attendions pas. Précisons un peu. La photo peut en première et très grossière approximation être assimilée à une grille de points noirs ou blancs (on peut préciser en nuances de gris, de blanc à noir en remplaçant l'alternative noir ou blanc par une série de S valeurs discrètes d'intensité lumineuse — cela ne change rien au raisonnement).

Si l'on explore cette grille, par lignes par exemple, comme la caméra de télévision, on va examiner chaque point successivement pour voir s'il est blanc ou noir et la suite des réponses constitue un message. Évidemment, en l'absence de toute règle, on ne sait pas dans quel ordre vont se succéder ces noirs et blancs. Ce que l'on sait, c'est que, s'il y a deux symboles (noir et blanc) par point, on peut obtenir avec n points 2^n messages différents. Autrement dit une photo qui a n grains noircissables (vus avec un appareil qui permette de les distinguer) peut donner 2^n configurations différentes, 2^n formes banales (avec S nuances de gris on aurait S^n).

Si l'on examine l'ensemble de ces messages, il y en a beaucoup qui vont, quoique différents, être d'un gris uniforme et nous ne verrons pas en quoi ils diffèrent. Par contre nous serons intrigués en trouvant par exemple l'un de ceux qui n'ont qu'un point noir.

Ils sont en effet très peu nombreux puisque, pour 2^n messages possibles, il n'y a que n messages à un point noir sur fond blanc et n à un point blanc sur fond noir. La probabilité d'avoir un de ces messages est donc $P_1 = \frac{n}{2^n}$. En revanche, la probabilité d'avoir autant de noir que de blanc est (sans tenir compte de la répartition) :

$$P_{n/2} = \frac{C_n^{n/2}}{2^n} = \frac{n!}{2^n \cdot \frac{n}{2}! \cdot \frac{n}{2}!}$$

Pour fixer les idées, si l'on avait un message à 8 points :

$$P_1 = \frac{2^3}{2^8} = \frac{1}{32}$$

et

$$P_4 = \frac{8!}{2^8 \cdot 4! \cdot 4!} = \frac{70}{2^8}$$

la probabilité est donc environ 9 fois plus forte d'avoir autant de noir que de blanc qu'un noir isolé dans le cas du message à 8 points qui offre peu de combinaisons.

Nous détecterons donc une forme par le critère : telle configuration est peu probable ; si elle se répète, c'est qu'elle n'est pas uniquement due au hasard.

Tout cela a l'air sans doute bien théorique et compliqué pour dire que nous reconnaissons un objet à sa forme et que cette forme est reconnaissable si elle ne ressemble pas à toutes les autres. Non, car nous voyons souvent des formes auxquelles nous ne connaissons pas d'objet et nous quittons ainsi le domaine de la photo-interprétation « d'identification » pour découvrir un nouveau domaine d'application, l'étude des formes en général, que nous connaissions ou non les objets correspondant au sol. Ici, il ne va plus être question de dire « telle forme correspond à tel objet », mais « telle forme montre telles propriétés, donc ce qu'on va mettre en relation avec elle au sol aura des propriétés connexes ».

Prenons quelques exemples.

Sur la photo n° 1 nous avons dit que les arbres désignés par + forment un verger parce que nous reconnaissons le verger qui est un objet familier. Mais nous aurions pu dire : « Les + sont groupés dans de petits espaces de forme régulière, ils forment des alignements sur lesquels ils sont implantés à distance à peu près constante, etc. »

Lorsque nous aurons déterminé + = arbre, nous aurons défini un verger, mais, si + = automobile, nous aurions un parking et, si + = militaire, c'était peut-être la revue du 14 juillet ! L'objet a perdu tout intérêt, nous avons défini une « relation », ici celle d'être rangé en ordre sur un espace *ad hoc*.

Donc l'étude des formes va nous permettre de définir et d'étudier des lois sans nous préoccuper immédiatement des objets qu'elles concernent.

L'exemple n° 2 montre une carte de végétation (dessinée en vert) et une carte géologique (dessinée en rouge). C'est-à-dire qu'on a entouré par des traits des zones où la végétation avait

photographies les maisons, les routes, les espèces d'arbres et dessiner, en les représentant par des signes conventionnels, une carte de leur répartition. Ce type d'interprétation est sans doute techniquement très utile : il permet d'accélérer les travaux de cartographie, de comptage ou de mesure ; mais, bornée à cela, la photo-interprétation ne permet pas de dépasser les connaissances acquises au sol. On trouve cependant dans cette méthode quelques types de raisonnements logiques qui, généralisés, permettent d'aller beaucoup plus loin.

Examinons la structure d'une interprétation à ce stade que l'on pourrait appeler « d'identification ».

Sur la photographie interprétée n° 1 (1), on identifie des maisons ou des arbres parce qu'on les « reconnaît ».

« Nous appelons l'objet de tel nom si, et seulement si, il présente telle forme ».

Ou « soit C la classe de tous les objets présentant telle forme, l'objet x appartient à la classe C s'il présente cette forme ».

Ainsi, par le principe même de notre technique, nous sommes condamné à n'envisager les objets que par leur « forme », un peu comme la musique ne peut envisager les objets que par des sons.

A chaque objet, à chaque point matériel ou assemblage de points considérés en bloc, nous attribuons une forme et inversement, quand nous voyons une forme, nous estimons qu'elle recouvre un objet. Autrement dit, à l'espace des objets nous associons un espace isomorphe, celui des formes.

Ce problème de l'identification est résolu si les classes définies dans l'espace des objets s'appliquent sur les classes définies dans l'espace des formes, c'est-à-dire s'il existe une correspondance biunivoque entre les objets et les formes. Or, l'expérience montre que nous ne savons pas toujours trouver une telle correspondance.

Dans le cas de l'exemple il n'y a pas de problème pour les maisons. Mais nous avons désigné les arbres par des signes conventionnels : + ou · ou o en pensant qu'ils appartenaient à la même espèce. Nous spécifions donc notre postulat de départ :

« Pour des arbres, ils appartiennent à la même

espèce si, et seulement si, ils ont la même forme. »

Et nous nous rendons vite compte que ce n'est pas toujours vrai (en vérifiant au sol par exemple). Pourquoi ? C'est parce que l'espèce est définie par des propriétés qui nous sont inaccessibles sur la photo et que la forme, vue d'avion, n'est pas une propriété capable de définir des classes recouvrant exactement les espèces.

On pourra d'ailleurs se poser le problème théorique de la possibilité de l'existence de telles relations.

Mais, dans l'état actuel des choses, il est évident qu'on ne peut pas limiter l'interprétation des photographies aériennes à la recherche de ces relations qu'on appelle souvent « clés d'interprétation ». Il n'est pas inutile de publier des recueils de formes types, mais il ne faut pas plus les appeler « Manuel d'interprétation » qu'on oserait appeler le Petit Larousse « Traité de la langue française ».

Ceci dit, nous reprenons notre exemple et nous constatons que, dans certains cas, si un arbre ressemblait autant au + idéal qu'au · ou o, nous l'avons quand même dessiné + sans hésitations parce qu'il était dans un groupe de +.

Nous faisons donc intervenir un critère autre que celui de la relation forme-objet. C'est à peu près : ayant constaté que les arbres étaient groupés par classes de forme, si l'identification de l'un d'entre eux est douteuse, nous disons qu'il appartient à la même classe que ceux du groupe environnant.

Si les arbres étaient répartis au hasard, nous ne pourrions faire ce raisonnement. Et mieux, notre raisonnement est d'autant plus valide que les arbres présentent un groupement plus ordonné : un chêne-liège dans un « verger » d'oliviers est plus improbable qu'un chêne-liège dans un « bois » d'oliviers sauvages.

Autrement dit un arrangement d'objets est d'autant plus significatif qu'il est plus improbable dans son environnement.

On reconnaît dans cette constatation expérimentale une spécification de la définition générale de la quantité d'information, qui est liée à la notion d'entropie : un système apportera d'autant plus d'information que sa configuration sera moins probable (1).

Cette définition du critère d'environnement nous permet de revenir en arrière et de généra-

(1) En annexe, dans le fascicule de la revue « Photo-Interprétation ».

(1) SHANNON (C. E.). — A mathematical theory of communication. *Bell System. Technical Journal*, juil.-oct. 1948, vol. 27.

liser la notion de « Forme ». En effet, nous avons négligé de définir ce que nous entendions par forme, nous contentant du sens intuitif du mot : ce qui permet de distinguer deux objets au moyen de la vue.

En fait, quand nous disons que nous avons vu une forme sur une photo, cela peut vouloir dire que nous reconnaissons une configuration connue, ou que nous voyons quelque chose à quoi nous ne nous attendions pas. Précisons un peu. La photo peut en première et très grossière approximation être assimilée à une grille de points noirs ou blancs (on peut préciser en nuances de gris, de blanc à noir en remplaçant l'alternative noir ou blanc par une série de S valeurs discrètes d'intensité lumineuse — cela ne change rien au raisonnement).

Si l'on explore cette grille, par lignes par exemple, comme la caméra de télévision, on va examiner chaque point successivement pour voir s'il est blanc ou noir et la suite des réponses constitue un message. Évidemment, en l'absence de toute règle, on ne sait pas dans quel ordre vont se succéder ces noirs et blancs. Ce que l'on sait, c'est que, s'il y a deux symboles (noir et blanc) par point, on peut obtenir avec n points 2^n messages différents. Autrement dit une photo qui a n grains noircissables (vus avec un appareil qui permette de les distinguer) peut donner 2^n configurations différentes, 2^n formes banales (avec S nuances de gris on aurait S^n).

Si l'on examine l'ensemble de ces messages, il y en a beaucoup qui vont, quoique différents, être d'un gris uniforme et nous ne verrons pas en quoi ils diffèrent. Par contre nous serons intrigués en trouvant par exemple l'un de ceux qui n'ont qu'un point noir.

Ils sont en effet très peu nombreux puisque, pour 2^n messages possibles, il n'y a que n messages à un point noir sur fond blanc et n à un point blanc sur fond noir. La probabilité d'avoir un de ces messages est donc $P_1 = \frac{n}{2^n}$. En revanche, la probabilité d'avoir autant de noir que de blanc est (sans tenir compte de la répartition) :

$$P_{n/2} = \frac{C_n^{n/2}}{2^n} = \frac{n!}{2^n \cdot \frac{n}{2}! \cdot \frac{n}{2}!}$$

Pour fixer les idées, si l'on avait un message à 8 points :

$$P_1 = \frac{2^3}{2^8} = \frac{1}{32}$$

et

$$P_4 = \frac{8!}{2^8 \cdot 4! \cdot 4!} = \frac{70}{2^8}$$

la probabilité est donc environ 9 fois plus forte d'avoir autant de noir que de blanc qu'un noir isolé dans le cas du message à 8 points qui offre peu de combinaisons.

Nous détecterons donc une forme par le critère : telle configuration est peu probable ; si elle se répète, c'est qu'elle n'est pas uniquement due au hasard.

Tout cela a l'air sans doute bien théorique et compliqué pour dire que nous reconnaissons un objet à sa forme et que cette forme est reconnaissable si elle ne ressemble pas à toutes les autres. Non, car nous voyons souvent des formes auxquelles nous ne connaissons pas d'objet et nous quittons ainsi le domaine de la photo-interprétation « d'identification » pour découvrir un nouveau domaine d'application, l'étude des formes en général, que nous connaissions ou non les objets correspondant au sol. Ici, il ne va plus être question de dire « telle forme correspond à tel objet », mais « telle forme montre telles propriétés, donc ce qu'on va mettre en relation avec elle au sol aura des propriétés connexes ».

Prenons quelques exemples.

Sur la photo n° 1 nous avons dit que les arbres désignés par + forment un verger parce que nous reconnaissons le verger qui est un objet familier. Mais nous aurions pu dire : « Les + sont groupés dans de petits espaces de forme régulière, ils forment des alignements sur lesquels ils sont implantés à distance à peu près constante, etc. »

Lorsque nous aurons déterminé + = arbre, nous aurons défini un verger, mais, si + = automobile, nous aurions un parking et, si + = militaire, c'était peut-être la revue du 14 juillet ! L'objet a perdu tout intérêt, nous avons défini une « relation », ici celle d'être rangé en ordre sur un espace *ad hoc*.

Donc l'étude des formes va nous permettre de définir et d'étudier des lois sans nous préoccuper immédiatement des objets qu'elles concernent.

L'exemple n° 2 montre une carte de végétation (dessinée en vert) et une carte géologique (dessinée en rouge). C'est-à-dire qu'on a entouré par des traits des zones où la végétation avait

le même aspect ⁽¹⁾ ; on se rend compte que ces zones n'ont pas une répartition quelconque mais forment des sortes d'auréoles. Ayant dessiné de la même façon les zones où les caractères géologiques sont analogues, nous nous rendons compte que les deux dessins sont presque superposables. D'où la conclusion : il existe une relation entre la répartition de la végétation et la répartition des roches.

Si nous admettons maintenant cette loi, nous admettons que les limites des zones de végétation et des couches géologiques doivent se superposer exactement ; nous sommes donc étonné (il est, dans cette hypothèse, improbable) qu'il y ait des endroits où les limites de la végétation ne suivent plus les limites géologiques. Nous constatons alors, que souvent la végétation déborde la limite géologique par-dessous, c'est-à-dire « suit » les débris de terrains éboulés. Nous précisons ainsi la première relation obtenue : il y a une relation entre la répartition de la végétation et la répartition des roches, y compris celles qui sont séparées de l'affleurement. Ces notions nous étant familières, cela n'a pas l'air d'avoir besoin d'être démontré en passant par toutes ces étapes. Mais notons que, si nous avons étudié les « relations forme du relief-géologie », nous aurions bien trouvé la relation relief-géologie de la roche en place. Mais ici le relief ne suivrait plus la roche non en place et prendrait un aspect particulier.

Il va rester, sur l'exemple considéré, quelques zones où les répartitions n'ont rien à voir, semble-t-il avec la géologie. Parmi elles, des zones où l'on montrerait que c'est l'orientation qui commande ; tout en haut de la photo, par exemple, un versant nord constitue une unité morphologique différente. Cette photo montre un champ trop limité pour pouvoir découvrir la relation qui lie la végétation à l'orientation du versant. Mais l'examen d'un nombre suffisant de photos nous fournirait les relations végétation climat.

Ces deux exemples montrent deux types différents de relations, l'une rassemble un certain nombre de formes ou d'objets élémentaires pour créer une forme ou un objet les englobant, l'autre met en relation, par l'équivalence des formes, deux objets différents déjà définis. On peut découvrir ainsi un grand nombre de relations.

Parmi elles il en est une sorte qui intéresse

⁽¹⁾ Zones homologues, il vaudrait mieux dire zones isomorphes.

vivement les spécialistes (géologues, archéologues...) qui s'occupent de l'âge relatif des phénomènes ou des objets qu'ils étudient, ce sont les relations d'ordre, c'est-à-dire celles qui permettent de comparer des objets non équivalents par rapport à l'une de leurs propriétés. Par exemple : A est plus grand que B ou A est antérieur à B, etc.

On connaît, entre autres, le fameux principe de superposition des stratigraphes, qu'ils soient géologues ou archéologues : « Si rien n'est venu troubler l'ordre du dépôt naturel, la couche inférieure est antérieure à la couche supérieure. » Ce n'est d'ailleurs pas un principe puisqu'on peut facilement le démontrer, et il est plus avantageux d'utiliser un théorème infiniment plus général : « dans un champ de forces, des particules soumises à ce champ vont se placer au point du plus bas potentiel possible ».

Nous retrouvons immédiatement notre principe de superposition. Considérons en effet des particules en cours de sédimentation, c'est-à-dire qui tombent sous l'action de la pesanteur : elles vont le plus bas possible (au plus bas potentiel) et s'arrêtent quand elles trouvent une barrière : le fond. Là, elles forment une strate et, ce faisant, constituent une barrière pour celles qui arriveront après. Donc, celles qui arriveront après iront un peu moins loin (à un potentiel un peu moins bas), etc. La plus haute est la plus récente.

Mais il n'existe pas que le champ de la pesanteur.

Lorsque, par exemple, nous disons du village de la figure 1 qu'il est un village-rue, ou que la disposition des maisons est commandée par l'alignement du chemin, c'est dire : le chemin exerce une « attraction » sur la position des maisons ; plutôt que de se mettre n'importe où, le paysan s'installera de préférence près d'un accès commode. On peut critiquer l'assimilation d'un tel phénomène à un champ physique tel que celui de la pesanteur ; mais, les formes obtenues dans le cas d'un champ physique ou d'un tel « champ par extension » étant les mêmes et les conclusions à en tirer identiques, c'est commode dans la pratique.

Voyons par exemple la carte de la ville de Reims ci-contre et analysons sommairement les formes que nous y voyons.

A) Deux routes en croix déterminent le centre d'un ovale à l'intérieur duquel les rues sont parallèles aux deux routes.



Extrait de la carte de France au 50 000^e. Institut Géographique National. Feuille REIMS.

B) Autour de cet ovale une auréole de structure différente (flots plus grands, alignements des rues moins nets...) est limitée extérieurement par un système de boulevards.

C) A l'extérieur on trouve une deuxième auréole, de structure nouvelle (pavillons).

Classiquement on dit : « Reims s'est construite au croisement de deux voies... » Ce qui signifie au fond que le croisement de deux voies était un point d'attraction qui a organisé la ville ; autrement dit, la ville est organisée par le « champ » attractif du croisement des voies.

Appliquons notre théorème. Le point de plus bas potentiel « là où il faudrait être » : c'est le croisement.

Évidemment, les premiers arrivés, ceux qui n'étaient gênés par personne, se sont groupés au point de plus bas potentiel (zone A).

Plus tard, les nouveaux arrivants trouvent la place occupée et se mettent au point le plus bas possible en dehors de A, donc en B autour du rempart de A, etc.

D'où la relation d'ordre : « A antérieur à B antérieur à C ».

On a obtenu une *stratigraphie horizontale exactement analogue à la stratigraphie verticale mais basée sur un autre champ*.

Bien entendu, cette étude très grossière n'épuise pas les possibilités de stratigraphie morphologique du plan de Reims et l'on pourrait trouver quelques dizaines d'autres relations d'ordre qui, interprétées par un historien, permettraient de préciser les origines de chaque quartier de la ville.

Nous avons étudié les « surfaces de niveau » des champs (strates pour la pesanteur, auréoles concentriques pour l'attraction d'un point...), mais on peut tirer beaucoup des formes dues aux « lignes de force ». Elles représentent les trajectoires des objets se déplaçant sous l'influence du champ.

Si, par exemple, on a affaire à un champ d'attraction par un point, les lignes de force convergent vers ce point. Regardez à nouveau la carte de Reims et la convergence de toutes les voies de communication vers le centre comme les lignes de force du champ. Supposons que l'on interpose dans le champ un écran percé d'un trou. Tout ce qui veut aller vers le point d'attraction, empêché par l'écran, va passer par ce trou qui va fonctionner pour la région extérieure comme un point d'attraction nouveau. On obtient le phénomène de la « Patte

d'oise » bien connu : aux sorties de ponts où la rivière fait fonction d'écran (voir le faubourg S.-O. de Reims P_1) ou aux sorties de villes lorsqu'il y a un rempart percé de portes (ce type se voit en P_2).

Cette forme nous donne une relation d'ordre très intéressante : pour qu'il y ait « patte d'oise », il faut qu'il y ait écran ; donc l'écran est antérieur et contemporain de la « patte d'oise » correspondante. La « patte d'oise » P_2 , par exemple, est postérieure aux remparts de A, donc à A. Et les voies qui la forment sont ainsi datées.

Une autre application de l'étude de la morphologie des lignes de force est la reconstitution des données structurales du relief par l'étude du réseau hydrographique. C'est une technique que les géologues emploient beaucoup pour interpréter les photographies aériennes du point de vue structural, surtout dans les pays à relief très peu accusé.

Très schématiquement, le procédé repose sur l'idée suivante : les gouttes d'eau étant soumises au champ de la pesanteur suivent les lignes de force de ce champ. Rencontrant un obstacle, elles vont suivre les lignes de plus grande pente de cet obstacle puisque les lignes de force du champ sont verticales : le réseau hydrographique donne les lignes directrices du relief. Mais demandons-nous ce qui s'est passé lors de la première pluie après émergence de la dernière couche déposée. La surface émergée n'étant pas encore érodée était une surface structurale, c'est-à-dire que son relief était presque uniquement dû aux déformations des couches.

L'eau a donc suivi les lignes de pente d'une surface structurale, donc les « pendages » qui intéressent le géologue. L'amorce du réseau hydrographique est donc déterminée à l'origine par la « structure » géologique. Évidemment, ceci est trop simple et il faut aussi tenir compte du fait que la surface structurale peut ne pas être homogène et avoir ses propres lignes directrices qui vont aussi influencer les formes du réseau hydrographique. Ceci n'est pas un inconvénient : on doit avoir ainsi des renseignements sur la nature de la roche si l'on sait analyser les formes.

Les formes donnent d'autant plus facilement ces renseignements structuraux que l'érosion est moins avancée, ce qui fait que la méthode s'applique surtout dans les bassins à faible relief. Ailleurs les formes sont souvent inversées, mais là encore une étude de la morphologie du

réseau hydrographique permet de donner des indications précieuses au géologue.

Ainsi dans l'exemple 3, qui est une interprétation géologique générale, on voit comment le réseau hydrographique dessine les structures montrées aussi par d'autres phénomènes.

Tout ceci montre que l'on peut dépasser le stade de l'identification d'objets ou de phénomènes connus au sol pour interpréter des formes et de là découvrir des relations qui définissent soit de nouveaux « objets », soit des phénomènes entre objets. On peut trouver cette analyse un peu théorique et se demander quel intérêt pratique on peut en tirer.

L'exemple 4 va le montrer. Ici on examine, sans idée préconçue, la structure agraire d'un terroir. Le système de relations obtenues par analyse morphologique va permettre la reconstitution de son histoire en quelques heures de travail. La même tâche exécutée par des moyens classiques (bibliographie, enquête au sol, etc.) demanderait un temps énorme si toutefois on avait quelques chances d'y parvenir.

Examinons donc les limites de champs. Elles vont nous fournir une série de propositions ou de relations qui sont :

(1) Les limites de champs sont, sur presque toute la surface de la photographie, orientées N.-S. ou E.-O. (dessinées en vert).

(2) Plusieurs zones font exception à cette règle :

(2 a) Les environs du village où les limites de champs convergent vers le centre du village (dessinées en orange) ;

(2 b) Sur la colline au sud, les limites suivent la topographie ou la géologie (elles n'ont pas été dessinées) ;

(2 c) Dans quelques zones, des limites apparemment désordonnées n'ont pas été dessinées ;

(2 d) Une petite zone de limites très ordonnées mais de direction particulière existe en (D).

Examinons ces propositions en nous basant uniquement sur la notion de probabilité dont on a parlé plus haut : le cas le plus improbable en l'absence de toute règle est (1), donc c'est celui qui contient le plus d'informations. Si on admet (1), les « exceptions » (2 a), (2 b), (2 c) apparaissent à leur tour comme improbables, donc nous intéressent mais à un moindre titre. Sauf (2 a) qui est une organisation impossible même en dehors de l'hypothèse (1).

Nous retenons donc comme « faits principaux »

(c'est-à-dire éléments contenant presque toute l'information) (1) et (2 a).

Précisons (1) : les deux directions principales perpendiculaires définissent des rectangles et des carrés. Existe-t-il une unité commune ? On va, dans le cas général, mesurer toutes les dimensions et faire une courbe de répartition ; ici c'est inutile car il apparaît des chemins ruraux également espacés qui nous fournissent cette mesure. (1) devient : « Les limites de champs orientées N.-S. et E.-O. sont des subdivisions de carrés de 710 m de côté. »

On peut reconstituer le réseau original de ces carrés.

Voyons maintenant (2 a) : les limites de champs du type (2) convergent vers un point, situé au nord du village. Ce point se trouve être l'intersection de deux chemins-limites du type (1). On va donc se poser le problème : « Cette situation est-elle fortuite ? » On ne peut le résoudre avec cette seule photographie ; mais, en reconstituant l'ensemble du quadrillage (1) dans la région, on constate que chaque village est muni de la structure (2 a) qu'il soit ou non sur une intersection de chemins de (1), mais que la plupart des villages sont implantés sur une telle intersection.

D'où la nouvelle relation : « La position de plusieurs villages est liée aux intersections des lignes principales de quadrillage. » Comme il est impossible de faire coïncider une grille régulière avec plus de deux points distribués au hasard, c'est qu'on a implanté les villages sur le quadrillage et non l'inverse. Donc les villages sont postérieurs au quadrillage. (Relation d'ordre qui nous donne une chronologie.)

Si les villages, centres d'attraction des structures (2 a), sont postérieurs au quadrillage, ces structures le sont à plus forte raison.

On a donc la conclusion : « La structure agraire de ce terroir dérive d'un quadrillage à mailles de 710 m de côté. Des villages implantés aux nœuds de ces mailles ont réorganisé les parcelles environnantes en une structure étoilée. »

L'archéologue peut alors interpréter : cadastre romain et remembrement médiéval.

L'examen de ces quelques exemples nous a montré qu'en disséquant les techniques employées dans l'interprétation des photographies aériennes on pouvait trouver des relations très générales et étendre considérablement le champ de ses applications.

Évidemment un tel survol très rapide n'avait

pas pour but d'attaquer le problème à proprement parler, mais de montrer qu'il n'était pas absurde de s'y mettre.

On a vu en effet que l'on pouvait facilement retrouver le processus logique des types d'interprétation les plus simples et aussi réduire dans des théorèmes beaucoup plus généraux des énoncés considérés comme des « principes » à l'échelon d'une technique particulière : c'est-à-dire qu'on entrevoit la possibilité de ramener peu à peu à des types logiques très généraux, des procédés qu'on ne rapprochait jamais, parce qu'ils étaient mis en œuvre par des spécialistes de disciplines très différentes.

Ce qui ne veut pas dire qu'on pourra remplacer le géographe, le géologue, ou l'archéologue par le photo-interpréteur ou plutôt par le « morphologue ». Le mathématicien ne remplace pas le physicien, le sociologue ou le financier ; il leur propose des outils : des structures formelles qui deviennent des propositions dans tel ou tel domaine par la spécification qu'en fait l'utilisateur. Il serait par exemple absurde d'appeler « carte géologique » le type de carte que l'on peut établir à partir de l'analyse du réseau hydrographique ; c'est une aide pour le géologue parce qu'elle lui donne une image globale des déformations, mais, sans interprétation spécifique, ce document est certainement faux en partie. L'expérience le montre bien d'ailleurs lorsqu'on est tenté de l'oublier !

Cette limitation précisée, l'étude d'ensemble de la morphologie doit conduire à une extension et à une normalisation des méthodes, mais aussi poser d'une manière concrète, parce que visuelle, des problèmes intéressant la théorie de l'information et, plus généralement, les théories logiques et la topologie.

On a vu comment la « forme » élémentaire pouvait être assimilée au « message » de la théorie de Shannon ⁽¹⁾ si l'on assimilait « l'obscur » et « l'éclairé » des points de la photographie aux symboles d'une séquence. Mais il faut noter que le modèle constitué par un couple stéréoscopique (une distribution de points lumineux dans un espace obscur) est beaucoup plus proche du modèle constitué par un gaz parfait que le message en file linéaire envisagé par Shannon et que, peut-être, les difficultés qu'on a rencontrées dans l'essai d'assimilation des notions d'entropie en information et en thermodynamique se lève-

⁽¹⁾ SHANNON : *op. cit.*

raient en étudiant des modèles aussi isomorphes que possible. D'un autre point de vue, les formes relevées sur la photographie correspondent, avons-nous dit, à des classes ou à des relations et sont des modèles de systèmes abstraits qui restent d'ailleurs à préciser.

Mais le fait d'avoir des modèles visibles et souvent familiers peut non seulement faciliter l'enseignement de théories logiques ou mathématiques mais aussi fournir des problèmes nouveaux. L'arpentage et la topographie ont été à l'origine de la géométrie, on peut penser que l'interprétation morphologique pourra fournir des modèles à la topologie.

Ainsi l'entreprise de généralisation de nos méthodes apparaît possible et utile. Comment s'y prendre ?

Première nécessité : permettre à tous les spécialistes des diverses disciplines de se familiariser avec les méthodes de photo-interprétation et de les développer eux-mêmes. Chacun connaît bien son problème particulier et se trouve à même de voir en quoi telle ou telle structure formelle s'intègre dans le champ de sa spécialité : telle méthode familière au géologue trouvera l'archéologue tout prêt à l'employer à condition qu'il en ait connaissance.

Une deuxième nécessité est de confronter des matériaux et des méthodes. Pour rechercher ce que peuvent avoir de commun les interprétations du géographe, du géologue, de l'urbaniste, etc., il semble qu'un bon moyen soit de grouper leurs travaux, si possible, sous une présentation standardisée et très mobile pour faciliter les confrontations. En premier stade publier tout ce qui est classique dans nos méthodes et nos résultats ; puis, donner peu à peu des exemples d'interprétations s'attachant à dépasser les connaissances acquises « au sol » pour voir jusqu'où l'on peut aller dans la généralisation et la recherche de relations ou structures nouvelles ; enfin faire de temps en temps le point et voir dans quelle direction conduiront les recherches.

C'est dans cette optique que le département de Photo-Interprétation de l'*Institut Français du Pétrole*, après avoir consulté et s'être assuré le concours des autres services similaires, prend l'initiative de lancer une revue, « Photo-Interprétation », dont les caractéristiques techniques sont exposées par ailleurs (en annexe, dans le fascicule de la revue « Photo-Interprétation »).

La publication annuelle d'une cinquantaine de documents stéréoscopiques interprétés servira

donc aux échanges entre spécialistes et ceci d'autant mieux que les textes trilingues (français-anglais-espagnol) permettront une diffusion mondiale. Mais un résultat non moins important sera la mise à la disposition des enseignants de documents restés jusqu'ici dans les archives des services en l'absence d'un moyen commode de publication. Pour en faciliter l'utilisation pédagogique, un fascicule annuel d'indications pratiques sera édité à l'intention des professeurs : il indiquera le genre d'utilisation (illustrations ou travaux pratiques), le niveau de chaque stade

d'interprétation et les matières intéressées ⁽¹⁾.

Nous pensons contribuer ainsi non seulement au développement d'une technique qui nous est chère mais aussi faire profiter tous les chercheurs d'un moyen d'information des plus efficaces.

Manuscrit reçu en septembre 1961.

⁽¹⁾ Ce fascicule sera d'autant plus facile à réaliser que la plupart des documents publiés sont déjà utilisés pour l'enseignement dans les écoles et stages spécialisés : Cours du service de la Carte de la Végétation (Toulouse) ; Laboratoire de géologie de Dinard, E. N. S. P. M....