

est d'abord lentement croissante (disparition progressive des graves famines), puis rapidement croissante (amélioration du taux de natalité + disparition des maladies infectieuses), jusqu'à un point à partir duquel elle devient de plus en plus rapidement décroissante (réduction du taux de natalité à partir d'un certain niveau de revenus + élévation de la proportion de personnes âgées par abaissement de la mortalité); on peut même arriver à un déficit naturel; mais de hauts revenus provoquent souvent une nouvelle recrudescence du taux de natalité, tandis que le taux de mortalité, qui avait atteint un seuil de saturation correspondant à une certaine structure par âges, peut diminuer à nouveau avec le rajeunissement de cette structure; or cette évolution ne peut que se ralentir progressivement, parvenant à une limite de plafonnement, qui tient à ce que le taux de mortalité par âge ne peut plus diminuer, et que la fécondité s'établit à un taux très inférieur à celui d'une population à bas revenus. On voit quelle peut être la richesse d'une évolution et de ses renversements, pour une croissance des revenus *de type graduel*.

2. Les seuils et les mécanismes

Si l'on essaie maintenant de préciser à quel type de mécanisme correspond le passage d'un seuil, et non plus seulement quelle est la position d'un seuil par rapport au mouvement, il semble que l'on puisse distinguer trois principales catégories. Mais elles ne s'excluent pas, et une discontinuité dans l'évolution peut être parfois rapportée à deux de ces catégories.

A. Les seuils de cisaillement

Les seuils de cisaillement (shearing) indiquent la victoire d'une énergie sur une résistance, c'est-à-dire généralement d'une action externe (stress) sur la cohésion interne d'un organisme, d'un matériau, etc. L'exemple le plus banal est donné par la rupture d'un câble sous l'effort de traction. On en trouve donc de fort nombreux en géomorphologie; par nature, ils prennent généralement la forme de seuils de manifestation.

La pente d'équilibre d'un éboulis est une de ces valeurs-seuils. Dépendant d'une énergie fixe — la gravité — et de la cohésion interne de l'éboulis, elle varie évidemment comme celle-ci : c'est-à-dire surtout en fonction de la dimension des matériaux, de leur forme, de leur degré d'hétérogénéité, de la teneur en eau de la masse. L'éboulis est d'autant plus cohérent qu'il est formé de matériaux plus grossiers, ou plus anguleux, ou plus perméables. Il semble que l'hétérogénéité granulométrique des matériaux soit plus favorable que l'homogénéité à leur cohésion; qu'un peu d'argile accroisse celle-ci — mais que beaucoup d'argile la diminue (22). Aussi, la valeur-seuil est-elle variable, parfois difficile à déterminer. On sait que celle des sables libres est de l'ordre de 34°, que celle des éboulements libres (openwork) se situe, en région semi-aride, entre 40° et 50° selon la nature des blocs (23).

Dans la même catégorie de seuils se trouvent des valeurs plus difficiles à connaître à l'avance, comme celle à partir de laquelle se déclenchent des loupes de solifluction, des coulées boueuses, des éboulements. La pente et la teneur en eau en sont les principaux paramètres : dans un sol donné, pour un certain taux d'humidification, le mouvement se manifeste au-delà d'une valeur critique de la pente; dans le même sol, réciproquement, pour une pente donnée, le phénomène se déclenche au-delà d'un taux d'humidification critique. On a donc un seuil clinographique pour un orage donné, un seuil hygrométrique pour un versant donné; dans le premier cas, on peut déceler par exemple, pour une petite région, les lieux où se déclencheront les glissements à partir d'une certaine quantité de pluie; dans le deuxième cas, pour un lieu donné, la quantité de pluie critique.

Une foule de phénomènes naturels ressortissent à des processus du même ordre (24). La mesure de la compétence d'une rivière, par exemple, correspond bien à un seuil de cisaillement : celui à partir

(22) Ce qui dénote un autre cas de seuil d'opposition.

(23) Cf. R. COQUE, [35], p. 237.

(24) En particulier dans le comportement des glaciers, où L. LEBOUTRY ([68], p. 44-55) souligne le rôle des contraintes et des cisaillements.

duquel la puissance du cours d'eau vainc la force d'inertie des galets d'une certaine dimension. Là encore, on peut rechercher, pour une vitesse donnée, quelle dimension des galets correspond au seuil au-delà duquel ils ne sont pas déplacés; ou, pour une dimension de galets donnée, quelle valeur de la vitesse du cours d'eau déclenche leur mise en mouvement.

Parce qu'ils représentent la victoire d'une force sur une résistance, de nombreux événements dans l'évolution des sociétés humaines peuvent être assimilés à des seuils de cisaillement, quoique l'expression puisse ici surprendre : c'est le cas des révolutions ou mutations historiques, aussi bien dans le domaine politique que dans le domaine économique et social.

B. *Les seuils de changement d'état*

Les seuils de changement d'état correspondent à des phénomènes d'une autre nature. Ils marquent la limite à partir de laquelle un corps ou un phénomène se transforment en un autre corps ou un autre phénomène *qualitativement distincts*.

La température de liquéfaction en est le témoignage le plus connu. Mais on peut en trouver de nombreuses traces en géographie. On sait, par exemple, qu'une certaine variation dans l'épaisseur d'une lame d'eau sépare deux types d'écoulement très différents, l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent. Il existe également des valeurs critiques de la teneur en eau d'un sol, de part et d'autre desquelles le sol se comporte comme un corps « solide élastique », ou « plastique », ou « visqueux ». Les lois qui régissent le comportement de ce corps, sa déformation sous les contraintes, changent avec son état. Les mesures des techniciens en mécanique des sols montrent que ces mutations d'état apparaissent brusquement, de façon discontinue, pour certaines teneurs en eau. Il en serait de même pour le comportement de la glace, qui serait tantôt « plastique », tantôt « visqueux » selon son épaisseur, sa température, la pression à laquelle elle est soumise (25).

De tels seuils, qui ne peuvent évidemment se mesurer avec la même précision, se trouvent dans l'étude des sociétés humaines. On sait que, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire dans une même région et pour un même système de culture, les conditions de vie des familles d'agriculteurs changent profondément. Bien des entreprises agricoles d'abord polyculturelles ont, en progressant, opté pour la monoculture — puis, progressant encore, sont souvent revenues à une certaine polyculture, mais tout autre que la première. Une petite ville et une grande ne sont pas seulement dissemblables par la taille : ce sont deux organismes sociaux de *nature* différente. G. GURVITCH a bâti toute une sociologie de ce qu'il nomme les « paliers en profondeur de la vie sociale » d'après le degré de cohésion des groupes humains et d'après leur dimension, insistant sur ce qu'il n'y a pas passage graduel d'un type à l'autre, mais discontinuités essentielles (26).

C. *Les seuils de relais*

Enfin, certains phénomènes supposent un changement dans les processus eux-mêmes, un relais entre les agents du mouvement.

On sait, par exemple, qu'en-deçà d'une certaine quantité de précipitations — évaluée parfois à 450 mm par an (27) — l'érosion mécanique se substitue à l'érosion chimique comme agent dominant de l'évolution du relief; bien entendu, l'un n'exclut pas l'autre, et même souvent l'un implique l'autre; mais il y a relais d'un processus fondamental à un autre processus fondamental. Plus généralement, la diminution ou l'augmentation des températures ou des précipitations introduisent des discontinuités dans les phénomènes d'érosion. L'un des seuils les plus importants à cet égard est celui au-delà duquel les alternances gel-dégel deviennent un facteur notable de l'évolution du relief : bien des conditions

(25) Cf. LIBOUTRY, [68], t. I.

(26) G. GURVITCH, [49].

(27) J. CORBEL, [36].

en sont changées. De même, à partir du moment où un versant est couvert par un manteau végétal suffisamment continu et épais, le comportement de l'érosion change.

Un autre type de relais pourrait être représenté par le knick au pied de certains versants, l'érosion en nappe relayant la désagrégation mécanique et le ravinement (28). A bien des égards, la ligne d'inflexion des versants, entre la partie convexe et la partie concave, marque un relais entre la lente descente par « creeping » et le ruissellement concentré — c'est du moins ce que soutenait H. BAULIG, et les observations qui lui ont été opposées n'ont pas rendu totalement caduc ce point de vue; de toutes façons, quel que soit le facteur principal de la concavité basale, il y a bien des relais dans les processus dominants. Un hydrogramme de crue montre souvent (29) deux seuils de relais qui sont autant de seuils de divergence pour la courbe, et qui correspondent à l'entrée en action successive de l'écoulement direct, de l'écoulement subsuperficiel et de l'alimentation par les sources. Bien d'autres discontinuités sur les hydrogrammes dénotent des seuils de croisement, à partir desquels une nouvelle onde de crue succède à la précédente.

Dans sa croissance de l'atelier à la petite, moyenne puis grande firme, une entreprise franchit plusieurs seuils, notamment parce que les facteurs de son existence et de sa gestion varient; l'un relaie l'autre; à partir d'un certain point, la notion de profit remplace celle de subsistance; les problèmes de capital l'emportent sur les problèmes de main-d'œuvre; la comptabilité mécanographique, voire électronique, supprime le livre de comptes qui a lui-même rendu caduc le carnet de ménage, etc.

3. Conséquences du franchissement des seuils

Enfin, le passage d'un seuil, quels que soient la forme de celui-ci et les mécanismes qui sont en jeu, peut avoir des conséquences diverses, que l'on doit également s'efforcer de classer.

A. Les seuils d'oscillation

Dans certains cas, le franchissement d'un seuil se traduit seulement par l'apparition d'un nouveau phénomène ou d'un nouvel état, sans que les facteurs qui ont amené ce franchissement soient les moins du monde affectés; et un franchissement en sens contraire, toujours possible, fait retrouver l'état ancien. Ces valeurs-seuils peuvent être invariables, comme la température de congélation de l'eau, ou variables, si elles résultent d'un rapport complexe, comme celles à partir desquelles apparaît soudain, ou se dissipe rapidement, le brouillard — lesquelles dépendent notamment du degré hygrométrique, de la température et de l'abondance des noyaux de condensation.

Le passage de l'écoulement laminaire à l'écoulement turbulent appartient aussi à cette catégorie: autour d'une certaine épaisseur, variable selon la viscosité du fluide, on passe constamment d'un état à l'autre, les oscillations pouvant se répéter indéfiniment comme pour les alternances gel-dégel. En géographie humaine, on peut évoquer le rôle des distances critiques, au-delà desquelles le mode de locomotion, ou le type de banlieue, ou l'intérêt d'une localisation industrielle en fonction du fret changent brusquement de nature.

B. Les seuils d'irréversibilité

Au contraire, le franchissement de certains seuils produit des effets irréversibles, et ne peut donc s'effectuer deux fois dans les mêmes conditions.

(28) « Le knick est en rapport avec une discontinuité granulométrique. Il est net lorsque, sur le versant, sont mobilisés des éléments trop gros qui cessent d'être déplacés dès la diminution de pente basale et qui doivent alors subir une fragmentation importante pour être déplacés plus loin — par exemple pierraille et sable, avec désagrégation granulaire comme nouveau processus. C'est encore une question de compétence du processus de transport » (J. TRICART, lettre personnelle, mars 1966).

(29) M. ROCHEFORT, [81], p. 45.

Dans certains cas, l'irréversibilité est absolue. Il en est ainsi, par exemple, lorsqu'une nappe phréatique a dépassé un taux de salinité à partir duquel les végétaux meurent; ou lorsque sa profondeur a dépassé la valeur qui la met hors d'atteinte des racines. Les crues, les tempêtes, au-delà de certains seuils, provoquent aussi des dégâts ou des modifications irréversibles. Les décollements, arrachements, cisaillements dans le sol ou dans la roche, qui se produisent de façon discontinue, appartiennent à la même catégorie: la pente, la teneur en eau peuvent reprendre des valeurs inférieures au seuil de cisaillement, mais la situation antérieure ne sera pas retrouvée. Certaines déprédations, liées à des formes brutales d'exploitation du sol, comme en certains pays coloniaux ou dans le « Dust Bowl » américain, semblent également avoir franchi le « point de non-retour », selon l'expression à la mode qui évoque bien un seuil d'irréversibilité.

Il est des circonstances plus subtiles. On pourrait admettre, par exemple, que des oscillations climatiques de sens opposé se traduisent par des oscillations parallèles du front d'un glacier. Mais un organisme aussi complexe ne réagit pas simplement: par exemple, si l'avancée du front est en grande partie commandée par la zone d'alimentation, ce qui suppose un certain retard de transmission, son recul peut suivre assez rapidement une modification des conditions qui règnent dans la zone d'ablation: en raison de cette dissymétrie on peut se demander si, pour de faibles oscillations autour d'un seuil, susceptibles d'entraîner la dégradation du front au cours des phases positives, la réavancée a toujours le temps de se produire au cours des phases négatives et s'il n'y a donc pas, dans certaines limites, un bilan finalement négatif.

Certaines circonstances, en tous cas, entraînent sûrement l'irréversibilité. Nous avons pu observer (30) que, la régression affectant aussi l'épaisseur du glacier, l'amincissement de celui-ci a parfois dépassé le seuil au-delà duquel la partie aval est tronçonnée par l'affleurement des verrous; alors, les masses coupées de toute alimentation nivale substantielle fondent rapidement sur place; elles ne peuvent se reconstituer directement en cas d'oscillation favorable du climat: leur logement ne pourra être réoccupé par la glace que depuis l'amont, ou grâce à un fort abaissement de la limite des neiges, supposant une oscillation climatique négative beaucoup plus puissante que la pulsation positive génératrice de la fusion. Certes, ces conditions sont un peu particulières (fig. 13), mais elles illustrent du moins la difficulté de certaines prévisions, et la nécessité de distinguer seuil d'oscillation et seuil d'irréversibilité, même relative ou partielle.

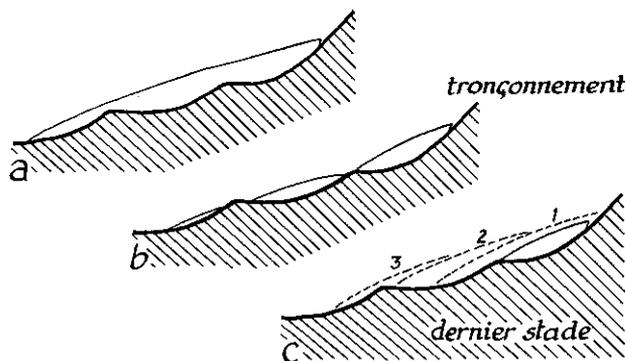


FIGURE 13
Irréversibilité relative de la régression d'un glacier.

L. LLIBOUTRY a d'ailleurs longuement étudié un exemple particulièrement net, celui des calottes glaciaires, et conclut: « La formation d'un inlandsis s'effectue irréversiblement lorsque la glaciation a atteint une ampleur suffisante et de même la disparition se fait de façon rapide et irréversible lorsque sa taille a décréu en-dessous d'une certaine limite » (31).

(30) R. BRUNET, [23].

(31) L. LLIBOUTRY, [68], p. 918.

On pourrait en dire autant du seuil critique de densité minimale de la population, celui au-dessous duquel l'exode est systématique. Le dommage causé par le dépeuplement peut apparaître irréversible : au bout de peu de temps, il ne suffirait plus de provoquer quelques immigrations pour retrouver l'ancien niveau : il faudrait reconstituer le réseau de services, recoloniser la région, vaincre même de solides préjugés.

La suppression d'une ligne d'autobus, en raison du dépeuplement, a aussi des conséquences partiellement irréversibles; d'une part, elle accélère la dépopulation; d'autre part, il ne suffirait pas, pour la rétablir, que la densité de population s'élève jusqu'au seuil où elle a été supprimée : mais bien au-delà, de toute évidence, en raison même de l'évolution passée. Il y a là une dissymétrie comparable à celle que nous avons observée dans le mouvement des particules sur un versant : la mise en mouvement doit vaincre aussi l'inertie, et le mouvement se poursuit pour des impulsions bien plus faibles que celle qui l'a déclenché.

C. Les seuils de compensation

Enfin, dans d'autres cas, le franchissement du seuil provoque la modification des facteurs d'évolution eux-mêmes.

C'est ainsi que, lorsqu'à la suite d'une fragmentation progressive de ses éléments, ou d'un accroissement de sa teneur en eau, ou d'un apport nouveau de matériaux, un éboulis franchit sa pente d'équilibre, un mouvement de compensation se déclenche, qui tend à faire retrouver à sa pente la valeur-seuil. Parfois, l'enlèvement de l'excès peut apparaître continu, encore qu'il soit l'œuvre d'une série de petits mouvements discontinus. Mais il y a souvent un élément de retard, la pente d'équilibre est légèrement dépassée, jusqu'à ce que le mouvement de compensation se déclenche et crée une pente qui peut alors être nettement inférieure à la pente d'équilibre : le réajustement se fait par discontinuités successives, qui *viennent avec retard et agissent avec excès*. La valeur-seuil a bien une existence réelle, mais elle admet une zone d'action plus ou moins large autour d'elle.

Des phénomènes du même genre s'observent dans le lit des rivières et leur jeu contribue à la définition du profil d'équilibre mobile. On peut évoquer aussi la compensation isostasique d'une accumulation de sédiments. H. BAULIG (32) remarque que, « si le phénomène est réel, on devrait plutôt prévoir de brusques affaissements séparés par de longues périodes de stabilité ». De fait, le retard de la compensation isostasique sur l'accumulation, et son mouvement saccadé, sont bien connus, suffisamment démontrés et expliqués par la géophysique (33). Voilà pourtant le type même de mouvement discontinu né d'un mouvement continu, dont H. BAULIG se refuse en maintes circonstances à admettre l'éventualité.

Dans la mesure où ces seuils de compensation impliquent généralement un retard de l'un des éléments d'évolution par rapport à l'autre, on peut aussi les observer en géographie humaine. Les exemples d'évolution par réajustements successifs y sont nombreux. R. PASSET (34) signale par exemple l'évolution de la production d'une usine d'après le comportement des carnets de commande : la modification de l'attitude d'un seul client, ou d'un petit nombre de clients, ne suffit pas à orienter la production; mais, au-delà d'une certaine quantité de modifications, l'industriel doit réajuster ses objectifs. Le bon sens dit : « une hirondelle ne fait pas le printemps »; mais il y a un nombre d'hirondelles à partir duquel il faut bien croire que le printemps est arrivé. Des exemples du même ordre se trouvent, en général, partout où une décision doit être prise à la suite d'une certaine *accumulation d'informations* : aussi bien dans le comportement de la Bourse que dans le choix d'un système de culture en économie d'échanges.

(32) H. BAULIG, [10], p. 119.

(33) Il en est de même pour les séismes, comme nous le fait remarquer J. TRICART : la rupture due à un cisaillement suit une mise en tension, et précède des mouvements lents de sens contraire compensant en partie les déformations brutales.

(34) R. PASSET, [76].

La rapidité relative avec laquelle se font ces réajustements est à elle seule un élément d'évolution, dans la mesure où ceux qui réagissent lentement, c'est-à-dire ceux dont le seuil de compensation est plus élevé — sont défavorisés, menacés par l'évolution. Ils risquent même de n'atteindre ce seuil de compensation que lorsque le mouvement a déjà oscillé en sens contraire : tels les petits porteurs d'actions qui vendent ou qui achètent toujours au mauvais moment; tel le paysan maladroit qui est constamment grugé sur le champ de foire; tel le cultivateur qui, faute de moyens, ou d'informations suffisantes, ou d'audace, choisit de développer une culture, à la suite des agriculteurs avisés : mais trop tard, au moment où, par suite d'une compensation excessive, cette production naguère déficitaire et donc rémunératrice est devenue excédentaire et se trouve délaissée par les agriculteurs aisés — qui ont, en quelque sorte, un seuil de compensation d'avance sur les autres.

*
**

Ces classements, selon des critères différents, ne sauraient faire oublier l'extrême complexité de la notion de seuil, et les intrications que l'on peut observer entre des types que nous avons momentanément isolés. Une typologie des seuils ne serait d'ailleurs que scolastique si elle ne conduisait à mettre en évidence quelques grands principes communs, aussi bien que des différences fondamentales — si elle ne pouvait, en d'autres termes, être dépassée : la notion de discontinuité ne se limite pas à ce classement.

II. — LA SIGNIFICATION DYNAMIQUE DES SEUILS

Les principes que l'on peut dégager de l'étude des seuils en géographie ne sont évidemment pas différents de ceux que l'on pourrait observer dans d'autres sciences et, plus généralement, des principes même de la logique dialectique. Encore est-il nécessaire, si l'on veut en tirer toutes les conséquences, de les exposer aussi clairement que possible.

Il semble qu'on puisse les rassembler en quatre rubriques, disposées ci-après. On doit admettre, du moins provisoirement, qu'il ne s'agit aucunement de lois absolues. Ces principes ne se vérifient que dans certaines conditions. Cependant, celles-ci sont suffisamment larges et nombreuses pour que la vérification s'opère dans de très nombreux cas. Le développement des recherches permettra de dire s'il s'agit de principes fondamentaux. Il suffit d'ailleurs, pour nos démonstrations ultérieures, d'avoir établi que les choses *peuvent* se passer ainsi.

1. La rupture est généralement le résultat d'une longue préparation

A. La plupart des seuils, sinon tous, sont des seuils d'aboutissement

Ils sont atteints après une période de lente évolution, où se préparent précisément les conditions de leur franchissement : c'est la continuité qui crée la discontinuité.

L'éboulement d'une partie d'un versant, par exemple, est le résultat du sapement progressif de la rivière et ne se produit que lorsque celle-ci a tellement redressé la pente que le seuil de cisaillement de la roche est atteint. Une cassure par faille se produit après une tension progressivement accentuée de l'écorce, comme une compensation isostasique répond à une accumulation progressive des sédiments. Les matériaux de certains éboulis se fragmentent peu à peu sur place, provoquant périodiquement de brèves descentes de matériaux, qui réajustent la pente d'équilibre. Un autre exemple éloquent est fourni par les fontaines intermittentes : elles ne coulent — brusquement — qu'après que l'eau ait rempli — progressivement — le siphon. De même, le lac qui se forme progressivement derrière une masse glaciaire crée les conditions de sa destruction : le réchauffement provoqué par la masse d'eau

se traduit finalement par l'ouverture brutale d'un passage dans la glace et par la vidange catastrophique du lac lorsque celui-ci a atteint un certain volume (1).

Dans bien des cas où cette phase de préparation ne paraît pas évidente, on peut cependant la déceler. Le gel de l'eau, par exemple, résulte d'une lente transformation de la structure et de l'arrangement des molécules. La fusion de la neige n'est pas continue, mais semble se produire soudain lorsque la quantité d'eau de fonte demeurée dans la neige, et qui a contribué à transformer sa structure, est sensiblement égale à la quantité de neige qui reste à fondre. L. LLIBOUTRY affirme que le système d'interactions dans lequel se place l'évolution d'un inlandsis comporte aussi une alternance de phases lentes de croissance, avec interactions cumulatives, et des phases brutales de décroissance provoquées par les rétroactions négatives : « La neige est continuellement stockée dans ce réservoir que constitue un inlandsis, mais périodiquement elle fond » (2).

Une découverte scientifique est bien le résultat d'une lente accumulation de connaissances; un concept n'apparaît qu'après la répétition d'un certain nombre de sensations identiques; une mutation psychologique, le déclenchement d'une révolution, supposent une « prise de conscience », selon l'expression consacrée : c'est le type même de seuil dont le franchissement implique une longue préparation.

B. *La discontinuité se manifeste souvent après l'intervention d'un catalyseur*

C'est la forte pluie imprégnant les particules du sol, et qui met en mouvement des masses en déséquilibre latent; c'est la crue qui provoque l'éboulement du pan de versant déjà sapé; c'est la faible onde de choc ou la secousse tellurique qui déclenche l'avalanche; c'est l'incident politique, inoffensif en d'autres circonstances, qui « met le feu aux poudres » et entraîne la révolution; c'est la ristourne sur les prix du matériel qui précipite la motorisation agricole.

Mais l'on aurait tort de prendre l'occasion pour la cause, et le catalyseur pour l'agent du mouvement. On aurait également tort de conclure que la présence du catalyseur est indispensable et que, par conséquent, la discontinuité ne peut donc apparaître dans la continuité que grâce à cette intervention extérieure. Les conditions de la rupture existaient déjà : le complexe considéré était en déséquilibre potentiel (3). Le catalyseur n'a guère pour effet que de hâter le mouvement, c'est-à-dire de transformer un seuil d'inflexion en seuil angulaire. Sans crue, le versant finirait tout de même par s'ébouler, et c'est souvent a posteriori que l'on découvre une cause mineure servant de catalyseur au déclenchement d'une mutation ou d'une révolution : une infinité de circonstances sont susceptibles d'« expliquer » le déclenchement d'une révolution, du moment que celle-ci était « mûre ».

C. *La discontinuité se produit souvent en un lieu de faiblesse*

Il s'agit ici d'une évidence qu'il n'y a pas lieu de développer : c'est la paille dans l'acier, le contact roche-manteau pour le glissement, le Trias plastique pour les plissements de gravité après décollement, etc. Mais il est non moins évident que cette observation a des conséquences cruciales dans la pratique, où la recherche de ces lieux de faiblesse est fondamentale.

D. *Une nouvelle période d'évolution lente succède à la rupture*

Il s'agit :

— soit d'une rectification de la catastrophe : le déblaiement d'une coulée boueuse ou d'un éboulement par l'érosion de la rivière et par les processus de versant, comme l'effacement des traces de l'avalanche, ou des excès de la mutation. La nature, ou la société, « panse ses plaies »;

(1) L. LLIBOUTRY, [68], p. 665.

(2) L. LLIBOUTRY, [68], p. 913.

(3) Expression employée par J. TRICART et J. AVENARD [2].

— soit de la préparation d'une nouvelle discontinuité, les facteurs d'évolution n'ayant pas changé. La fragmentation des matériaux se poursuit et prépare une nouvelle descente en masse, la rivière continue à ronger, etc.

En fait, ces deux actions peuvent être liées, celle-là n'étant souvent que la première phase de celle-ci : la discontinuité correspond donc souvent à un paroxysme (4).

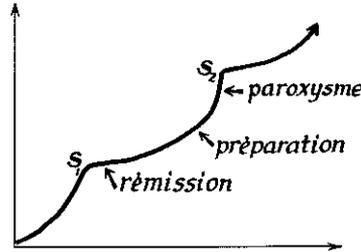


FIGURE 14

Représentation des discontinuités dans une évolution :
phases de paroxysme, de relâchement et de préparation.

2. La rupture marque souvent un changement qualitatif

Les seuils de changement d'état montrent à l'évidence qu'une modification de quantité peut entraîner une mutation qualitative. Mais le phénomène est beaucoup plus général et n'appelle d'ailleurs pas de longs développements, tant la notion apparaît banale.

On sait que la couleur des objets, par exemple, dépend uniquement de la longueur d'onde des rayons lumineux qu'ils réfléchissent; et l'un des plus beaux exemples de mutation qualitative dans les sciences est résumé par la table de Mendéléiev : à des changements de poids atomiques et de valences correspondent des corps simples différents. On a coutume de considérer que le tout est autre chose que la somme des parties, comme une grande entreprise est qualitativement autre chose qu'une petite, comme une grande ville a peu de traits communs avec une bourgade. Même des sociologues classiques ont admis que « tout accroissement quantitatif d'une société entraîne des modifications qualitatives... Les formes des groupes dépendent étroitement du nombre des éléments » (5). M. MAUSS a expliqué que « les différences qualitatives qui séparent ces deux civilisations (la civilisation estivale et la civilisation hivernale des Eskimos) tiennent surtout à des différences quantitatives dans l'intensité très inégale de la vie sociale à ces deux moments de l'année » (6) : la sociologie s'est largement fondée sur ce type d'observation.

Nous avons déjà noté de nombreuses applications de ce principe en géographie. Le ruissellement concentré est tout autre chose que le ruissellement diffus, et pourtant seul un accroissement de la quantité de pluie les sépare. Il en est ainsi de l'opposition entre écoulement laminaire et écoulement turbulent, etc. Soumise à une certaine pression, l'argile devient schiste. Les lois auxquelles obéit le comportement des particules fines dans les rivières sont différentes de celles auxquelles se conforment les galets; un grand fleuve ne se comporte pas comme une petite rivière.

L'effet de masse est un élément important de ces oppositions. A partir d'un seuil, l'accroissement du nombre d'automobiles sur une route provoque un bouchon et l'écoulement de la circulation prend alors des caractères tout différents. De même, comme le soulignent LEOPOLD, WOLMAN et MILLER, des galets isolés sont mis en mouvement pour des valeurs de la compétence bien inférieures à celle qu'exige

(4) Déjà souligné par J. TRICART ([101], p. 112).

(5) G. SIMMEL, in *Année sociologique*, I, 1896, p. 97.

(6) M. MAUSS, in *Annales sociologiques*, A, I, 1934, p. 16.

une masse de galets de même calibre : un banc de galets est tout autre chose qu'une simple addition de galets — comme la foule est autre chose qu'une addition d'individus, ou même de groupes de groupes. Un massif végétal a d'autres exigences, une autre écologie que les arbres qui le composent, pris isolément.

On peut avoir toute une chaîne de transformations qualitatives successives, comme celles que l'on observe dans la nature des argiles produites par l'altération d'une roche, selon le degré de lessivage et le degré d'acidité (7) : dans certains cas les agents d'évolution croissent suffisamment pour que toute la chaîne soit parcourue; dans d'autres cas leur valeur est contenue dans certaines limites et l'évolution qui en résulte ne parvient pas au-delà d'un des maillons.

Même les évolutions historiques montrent des progressions de cet ordre. G. CASTER, par exemple, a montré (8) que, sans révolution culturelle apparente, une augmentation continue de la culture du pastel à la fin du xv^e siècle a provoqué un véritable bond qualitatif : on est passé d'un système de culture admettant le pastel comme spéculation mineure à une civilisation du pastel. L'accroissement des récoltes de maïs dans les campagnes gersoises a, de nos jours, provoqué un changement de même nature, faisant d'une culture pour l'autoapprovisionnement une culture commerciale, ce qui entraîne toute une série de transformations. On retrouve cette sorte de bond dans le domaine de la motorisation, voire dans la plupart des progrès agricoles récents de la région toulousaine, comme nous avons essayé de le montrer ailleurs. D'imperceptibles modifications finissent, additionnées, par changer un système en un autre.

3. La rupture est le résultat d'une interaction

Une évolution met toujours en cause plusieurs facteurs, qui réagissent l'un sur l'autre. Lorsqu'une énergie vient à bout d'une résistance, cette victoire peut modifier le comportement de l'agent actif lui-même : une capture de rivière change les conditions hydrodynamiques dans la partie aval du cours d'eau capteur, et finalement en amont de la capture même, puisque tous les points d'un lit sont solidaires. La prise en charge de matériaux solides par un cours d'eau modifie brusquement la puissance de celui-ci et provoque de nouveaux dépôts. Il y a interaction constante entre le courant et la forme du lit : LEOPOLD, WOLMAN et MILLER ont montré que, dans des matériaux suffisamment fins (9), le lit demeure plat pour une faible vitesse; à partir d'un seuil, un accroissement de la vitesse entraîne la formation de petites dunes dissymétriques, à pente raide vers l'aval; jusqu'à ce que la diminution de profondeur résultant de leur croissance provoque localement une augmentation de vitesse qui permet au courant d'araser la dune; au-delà d'un nouveau seuil dans l'accroissement de vitesse, apparaissent de nouvelles dunes, de forme opposée, à pente raide vers l'amont, dont la longueur d'onde est identique à celle des vagues superficielles qui naissent dans le courant à cette vitesse et qui, comme elles, migrent vers l'amont (fig. 15). On a ici un excellent exemple de rapports dialectiques, comportant interactions, trois seuils successifs dans l'évolution, deux renversements de situation — deux trains de dunes succédant à deux phases à fond plat —, et une mutation qualitative avec seuil de relais — les premières dunes et les secondes ayant des formes différentes et correspondant à des processus distincts.

La croissance d'un banc de galets dans le lit réduit la profondeur de la tranche d'eau, jusqu'à un seuil à partir duquel l'accroissement consécutif de vitesse en ce point, et donc l'augmentation de la compétence, permet à la rivière de déplacer individuellement les galets : le courant empêche le banc de grossir, sans toutefois pouvoir le déplacer. Le profil d'équilibre d'une rivière, comme H. BAULIG l'a abondamment montré, est fait de ces retouches successives, dues à l'interaction constante entre la forme du lit, la largeur et la profondeur du courant, et la puissance de celui-ci.

(7) LEOPOLD, WOLMAN et MILLER, [67], p. 108.

(8) G. CASTER, *Le commerce du pastel et de l'épicerie à Toulouse, 1450-1561*. Toulouse, Privat, 1962, 411 p.

(9) LEOPOLD, WOLMAN et MILLER, [67], p. 223.

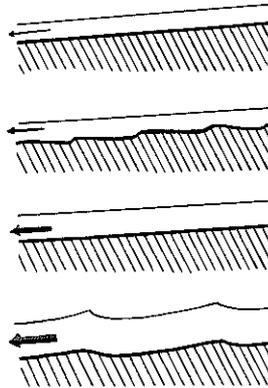


FIGURE 15
Evolution des formes
du lit d'une rivière à fond mobile,
en fonction d'une vitesse croissante.

L'évolution des inlandsis paraît particulièrement riche en interactions (10). Dans une première série de phases, celles-ci sont cumulatives — c'est ce que A. CALLEUX nommait « l'autocatalyse inlandsisienne d'altitude ». En effet, au cours d'une variation favorable du climat, le gonflement de la masse glaciaire aboutit à ce que sa surface franchisse une altitude-seuil, celle qui sépare la zone d'ablation de la zone d'accumulation; la croissance de la calotte est alors précipitée; le climat en subit lui-même les conséquences : la masse glaciaire devient assez puissante pour refroidir localement le climat, « ce qui augmente le coefficient nivométrique et diminue l'ablation ». En même temps, la surface du niveau des mers s'abaisse et l'altitude absolue de la surface de la calotte augmente d'autant. Mais, à partir d'un nouveau seuil dans la croissance, une série d'interactions négatives finissent par bloquer cette croissance : les dimensions de l'inlandsis parviennent à un seuil de plafonnement parce que, d'une part, l'inlandsis s'avance à des latitudes trop basses et que, d'autre part, l'anticyclone stable créé par la masse glacée produit un courant catabatique froid qui se réchauffe adiabatiquement vers la périphérie où il joue le rôle d'un foehn, entretenant une ablation énergique sur les marges.

De même a-t-on souvent souligné l'interaction entre tectonique et érosion (11). L'érosion contemporaine de l'orogénèse peut même influencer la forme des plis. L'ablation et l'entassement corrélatif de sédiments déclenchent les mouvements de compensation isostasique.

Tout un chapitre de la géographie humaine est particulièrement riche en témoignages de ce principe : c'est celui qui traite de l'évolution démographique naturelle. La régression du taux de mortalité brut, par exemple, provoque un vieillissement de la population qui tend à élever le taux de mortalité lui-même, tandis qu'au contraire une diminution du taux de natalité tend à produire des effets cumulatifs et à s'accélérer par *autocatalyse*. Le jeu simultané de ces changements entraîne de nombreuses discontinuités, une évolution fertile en changements, comme on l'a déjà observé.

On voit alors que ces interactions se manifestent de plusieurs façons.

A. Certaines interactions sont contradictoires

Deux facteurs peuvent être en interaction négative, c'est-à-dire que l'action de l'une freine l'action de l'autre. Tel est le cas de l'altération chimique qui, en créant un manteau de sol plus ou moins épais, permet aux eaux de pluie de s'infiltrer et éponge donc une partie des eaux, favorisant plutôt la solifluction que le ruissellement. De l'autre, un ruissellement actif, par exemple sur une pente raide,

(10) D'après L. LLIBOUTRY, [68], p. 798.

(11) Notamment P. BIROT, [15] et J. TRICART, [101].

s'oppose à l'imprégnation lente de la roche et donc à son altération. Selon les cas, un facteur l'emporte sur l'autre et cette rivalité est à l'origine de nombreux seuils de relais : c'est le type même de l'opposition dialectique, dont ravinements et glissements nous fournissent un autre exemple. Tel est le cas général. Cependant, le contraire peut également s'observer.

B. *Certaines interactions sont cumulatives*

Il arrive, en effet, que deux agents en rapport dialectique s'épaulent mutuellement, l'action de l'un facilitant le travail de l'autre : ainsi, jusqu'à un certain point, de l'altération chimique et de la désagrégation mécanique. Il s'agit parfois de deux processus contradictoires, dont nous avons montré qu'ils peuvent être séparés par un seuil de relais. Mais, en même temps, la désagrégation mécanique facilite la pénétration de l'eau dans la roche, et donc la décomposition chimique, cependant que l'altération de certains cristaux peut faciliter à son tour la pénétration de l'eau — et donc du gel (12).

On voit par là que l'efficacité de l'altération totale ne suit pas une progression simple en fonction du climat. A un bout de l'échelle zonale, la décomposition chimique domine presque exclusivement (zone chaude et humide); à l'autre c'est la désagrégation mécanique (régions désertiques froides et chaudes); dans ces cas extrêmes en effet, le processus « concurrent » ne peut guère se manifester. Mais, entre les deux, les combinaisons sont extrêmement subtiles, les deux processus s'aidant, quoique chacun y ait moins d'agressivité que dans les cas extrêmes.

On a noté que l'abaissement du taux de natalité, agissant sur la répartition par âges, tend à produire des effets cumulatifs. Mais on remarquera que ces interactions positives parviennent assez vite à une limite, le mouvement ne pouvant s'accélérer indéfiniment : autoexcitation, ou autocatalyse, ou interaction cumulative, voire réaction en chaîne, selon que l'on préfère l'un ou l'autre terme, ne se manifestent elles-mêmes qu'entre des seuils.

C. *Certaines actions provoquent des rétroactions*

C'est le cas des exemples donnés plus haut à propos du comportement des cours d'eau ou des inlandsis : une action *fait naître une forme* (ou un processus) qui s'oppose partiellement à cette action.

Ces constatations sont à la base des recherches sur les phénomènes d'autorégulation, tels que ceux qui régissent le comportement du corps humain, et qu'étudie spécialement la cybernétique. C'est dire leur importance (13). Il est vrai que le phénomène est général : loin de se limiter aux faits naturels, il concerne aussi les faits sociaux. On en a un exemple dans le rapport entre la production et les prix : une augmentation de la production agricole dans un marché peu élastique entraîne un avilissement des prix qui décourage les cultivateurs de poursuivre cette spéculation et peut aboutir, en peu de temps, à la raréfaction du produit et donc à une amélioration des prix. Les réajustements sont rapides dans le cas de cultures annuelles, mais des dommages irréversibles peuvent se produire dans le cas de cultures arbustives. On trouverait de nombreux processus du même genre dans les rapports entre prix et consommation, entre salaires et demande d'emploi, etc.

D. *Les rétroactions se produisent avec un certain retard*

Ces exemples montrent que la rétroaction ne peut suivre immédiatement l'action. Il y a un certain retard, dont l'importance même influence l'évolution : on a vu, en étudiant les seuils de compensation,

(12) Il en serait de même du rapport entre fissuration et altération. J. TRICART reproche justement à A. RONDEAU (dans le compte rendu consacré à la thèse de celui-ci dans la *Revue de géomorphologie dynamique*) de les avoir traités comme s'ils étaient incompatibles.

(13) J. TRICART a beaucoup insisté sur ces rétroactions, notamment dans [101].

que la plus ou moins grande rapidité avec laquelle une entreprise réagit à une modification de la conjoncture est, pour elle, riche de conséquences.

Ce décalage s'explique, on l'a vu, par les phénomènes d'*inertie*. Il faut une certaine quantité d'action ou d'information pour que soit atteint le seuil à partir duquel se déclenche le mouvement; celui-ci peut se poursuivre pour une impulsion relativement faible. On se rapproche ici à la fois de la notion de *quantum d'action* et de la notion d'*hystérésis*, si fécondes en physique : nous sommes persuadés qu'elles ne le sont pas moins en géomorphologie et dans les sciences humaines. Elles rendent compte de nombreuses oscillations successives, par évolution purement interne.

E. La rétroaction est généralement inférieure à l'action

En raison de ce retard, les mouvements de compensation déclenchés par une action ne parviennent généralement pas à égaler celle-ci. C'est même cette dissymétrie qui crée l'évolution. On ne revient jamais à la situation antérieure. Pour certains, le mouvement pourrait donc être représenté sous la forme d'une spirale au lieu de l'être par un cercle fermé — un « cycle » : on verrait bien mieux une hélicoïde; encore faudrait-il imaginer que ses spires aient des rayons de courbure fort variables.

Ce sont ces conflits, ces conjonctions d'efforts, ces actions et ces rétroactions qui créent les discontinuités. Tour à tour l'un ou l'autre des agents l'emporte, tour à tour la cause devient l'effet et l'effet la cause : rien de surprenant à ce qu'au cours d'un mouvement de même direction générale, les formes ou les processus puissent apparaître parfois opposés.

4. La rupture peut provoquer un renversement de conséquences

C'est ce que le langage populaire admet implicitement lorsqu'il déclare que « le mieux gâte le jeu » ou que « le mieux est l'ennemi du bien », etc. Nous avons déjà, définissant des seuils, trouvé des exemples de ce principe. S'il y a peu d'eau les mouvements de masse ne se produisent pas; s'il y en a beaucoup ils se déclenchent; avec plus encore tout peut être emporté par le ruissellement — du moins à des températures telles que l'altération chimique intervienne relativement peu. Si un climat est très froid, le gel fige le relief, l'érosion mécanique est faible; un peu moins froid, de nombreuses alternances gel-dégel se succèdent et la désagrégation est donc active; un peu moins froid encore, il y a peu d'alternances et la désagrégation s'affaiblit à nouveau.

Le granite s'altère sous climat tropical humide et donne un épais manteau de débris — jusqu'à ce que tout glisse et laisse la roche à nu. Un affaissement tectonique progressif fait d'abord naître un lac, puis entraîne son comblement. Sur une même verticale au piémont, l'érosion d'une montagne entraînera successivement le dépôt de sédiments fins, puis grossiers, puis fins (14). En pays semi-aride l'humidification progressive du climat entraîne d'abord l'incision de la roche, puis la planation latérale — et au-delà d'un nouveau seuil on verrait encore dominer le creusement vertical. Au cours de la progression d'une crue, le relief relatif du lit s'accroît d'abord, puis se réduit (15). Un peu d'argile accroît la cohésion d'un sol, mais beaucoup d'argile l'expose au ruissellement parce qu'un nouveau facteur, l'imperméabilité, a dépassé le seuil à partir duquel il entre en ligne de compte (16). En plaine, un peu de calcaire accidenté le relief, beaucoup de calcaire le calme, comme nous l'avons écrit dans la thèse principale en paraphrasant une formule qui illustre d'ailleurs une discontinuité de même type (17).

Nous avons pu consacrer toute une page de cette thèse principale (18) à énumérer le nombre élevé de retournements dialectiques par lesquels sont passés les cultivateurs du Toulousain au cours de la récente mutation des campagnes — et l'on pourrait trouver une foule d'autres exemples dans l'étude des prix, des revenus, etc.

(14) Cf. P. BIROT, [15], p. 107.

(15) LEOPOLD, WOLMAN et MILLER, [67], p. 231.

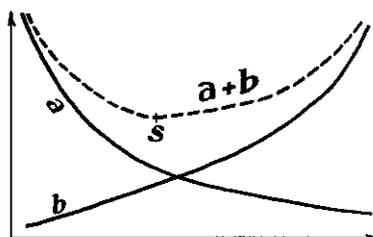


FIGURE 16
Addition de deux courbes simples.

Enfin, on observera que l'addition de deux évolutions linéaires peut provoquer une évolution discontinue, comme le montre la fig. 16 : nous aurons à développer les implications de ce fait.

Si l'on insiste sur ces aspects, au point d'accumuler les exemples, c'est parce que ceux-ci nous paraissent établir :

1. Qu'au cours d'un mouvement *continu, de même sens*, peuvent apparaître non seulement des ruptures, mais encore *des conséquences contradictoires*.
2. Que la contradiction est donc bien dans les choses, et non dans l'esprit de l'observateur.
3. Qu'en raison de ces faits, beaucoup de phénomènes *ne se manifestent qu'entre deux limites*. Celles-ci sont, pour le phénomène en question, le seuil de manifestation et le seuil d'extinction; pour le mouvement en général, elles marquent des mutations qualitatives. En même temps et pour la même raison, *beaucoup d'observations et même de principes ne sont donc valables qu'entre certaines limites de part et d'autre desquelles le contraire peut être vrai* — ce qui n'est qu'une illustration de la relativité de la vérité.

CONCLUSION

La notion de discontinuité dynamique endogène

Les géographes ont depuis longtemps observé toutes sortes de discontinuités. Les surfaces de discordance, les ruptures de pente, le knick, la ligne de rivage en sont autant d'exemples. L'œkoumène, le paysage cultivé sont discontinus. Mais ce sont là des discontinuités matérielles, figées relativement. Elles conditionnent les processus mais ne sont que faiblement influencées par eux. Nous les nommerons *discontinuités statiques*.

Les unes, comme la ligne de rivage, la surface des océans ou de la terre, sont des données immédiatement sensibles, dont l'interprétation ne pose pas de problème particulier. Les surfaces de discontinuité entre les masses d'air ou les masses d'eau sont d'un autre type, sur lequel il y aura lieu de revenir. Enfin, certaines discontinuités statiques sont bien le produit d'une évolution, mais elles impliquent une interruption brusque des processus : c'est le cas des surfaces de discordance, et souvent des plans de stratification dans un sédiment hétérogène.

La réflexion à laquelle nous nous livrons ici porte sur un autre genre de discontinuités : celles qui apparaissent au cours d'une évolution continue. Nous les appellerons *discontinuités dynamiques*. Parmi celles-ci, il faut distinguer deux catégories.

(16) LEOPOLD, WOLMAN et MILLER, [67], p. 39.

(17) J. JAURÈS : « Un peu d'internationalisme éloigne de la patrie, beaucoup d'internationalisme y ramène ».

(18) *Les campagnes toulousaines*, [28], p. 665-667.

Certaines discontinuités proviennent d'une perturbation de l'évolution, mais provoquée de l'extérieur. Tel est le cas, par exemple, des confluent pour une rivière : ils transforment du dehors le débit et la charge, et introduisent des discontinuités dans le profil en long de la rivière principale. Nous qualifierons d'*exogènes* les discontinuités de cet ordre. En général, les mouvements tectoniques brusques, les changements de climat, sont sources de discontinuité dans l'évolution. Tous les géographes admettent des discontinuités de cet ordre.

Mais il en est d'autres, dont nous voudrions montrer, ou seulement rappeler l'existence, en raison de l'intérêt que présente la prise en compte de cette notion pour le raisonnement même. Ce sont les discontinuités qui apparaissent sans perturbation extérieure, au cours d'une évolution continue et de même sens : on les désignera sous le nom de *discontinuités dynamiques endogènes*.

Ce sont ces phénomènes dont beaucoup de géographes nient la possibilité, généralement au nom de la « logique », comme le rappellent les citations que nous avons énumérées dès l'introduction. Pourtant, çà et là, de nombreux chercheurs ont décelé des seuils, dont on vient de montrer qu'ils ne sont pas provoqués par des perturbations *externes*.

Ces discontinuités viennent du jeu complexe des différents agents de l'évolution, dans le temps et dans l'espace. Nous en avons déjà donné maint exemple en définissant la notion de seuil. Les principes étant posés à partir de ces données d'expérience, nous voudrions maintenant démontrer que les discontinuités endogènes peuvent apparaître simplement lorsque varient certaines grandeurs élémentaires qui servent de cadre à l'évolution et ne sont pas fondamentalement influencées par elle, et que l'on baptisera pour la cause des variables indépendantes (19). C'est, au fond, développer certains aspects de la relativité dans les sciences géographiques.

(19) Tout en sachant que dans certains cas elles font partie intégrante du complexe et sont donc en rapport dialectique avec le phénomène considéré, du moins à une certaine échelle.

Deuxième partie

LES DISCONTINUITÉS DANS LA CROISSANCE

Les sciences géographiques permettent de déceler un grand nombre de complexes dialectiques (1), à l'intérieur desquels les agents sont en interaction. Certains ont la forme de couples : tectonique-érosion, altération-transport (sur un versant), puissance-charge (dans une rivière), voire puissance-forme du lit, végétation-érosion, dépenses-revenus, progrès-réaction, travail-capital, etc. Mais les complexes sont souvent beaucoup plus riches ou, plus exactement, ces couples eux-mêmes recouvrent des mécanismes multiples. La puissance de la rivière, c'est à la fois la vitesse, la turbulence, la turbidité, la compétence, etc., tous éléments d'ailleurs liés et se conditionnant réciproquement.

Les combinaisons entre les éléments du complexe sont théoriquement si nombreuses qu'on ne saurait les imaginer toutes. Et toutes, sans doute, ne sont pas réalisées à la surface du globe. Mieux vaut, probablement, partir de l'expérience, c'est-à-dire de l'observation des faits, rechercher comment un complexe, et non ses éléments séparés, évolue lorsque change la dimension du phénomène — dans l'espace ou dans le temps.

Nous ne pouvons évidemment en donner que quelques exemples. On laisse de nombreuses questions en suspens : il aurait fallu, autrement, de fort longues enquêtes, dépassant le cadre de ce travail. On cherche à poser des questions, à ouvrir des voies, et non à composer une énumération exhaustive.

I. — LA CROISSANCE DANS LES PHÉNOMÈNES NATURELS

1. La position

La première idée qui vient à l'esprit est de rechercher ce qui se passe quand varie une grandeur élémentaire aussi simple que la position en latitude ou en altitude — la longitude, par définition, ne pouvant avoir aucune influence sur le mouvement.

Bien entendu, ce n'est pas la valeur de l'altitude ou de la latitude par elles-mêmes qui nous préoccupent, mais la progression qu'elles impliquent dans le rôle de certains facteurs naturels : radiation solaire, températures, précipitations, etc. Il s'agit là de réflexions élémentaires ; elles peuvent

(1) Les expressions de binôme ou de polynôme parfois employées à ce sujet nous paraissent malheureuses, et nous estimons qu'elles ne doivent pas être conservées : un polynôme est « une somme algébrique de monômes séparés par des signes + et — » (Dictionnaire Robert). Ces expressions introduisent une fausse élégance d'allure mathématique, particulièrement trompeuse en ce domaine. Cette vaine projection d'une algèbre élémentaire masque la nature même du complexe : les termes d'un binôme n'ont pas des rapports dialectiques.

paraître superficielles; mais alors on ne comprend pas que, les jugeant évidentes, des chercheurs avisés nient encore qu'une évolution *graduelle* puisse se traduire par des discontinuités, voire des renversements dans les conséquences. Ces évidences se rattachent bien à l'ordre de phénomènes que nous étudions, et il a paru utile de résumer les observations fondamentales.

A. L'altitude

L'élévation en altitude, toutes choses égales d'ailleurs, c'est d'abord la diminution progressive de la température, qui apparaît comme *une variation continue*. Or l'existence de seuils altitudinaux est, pour certains complexes, d'une grande banalité.

a. Il y a d'abord un étagement biologique, avec des lignes de discontinuité entre les étages. Quels que soient les accidents locaux dus à des microclimats, des phénomènes d'abri, des changements de pentes, etc., on ne peut pas dire qu'on passe par transitions insensibles de la forêt à la pelouse alpine. La limite supérieure de la forêt est une ligne de discontinuité, à la rigueur une marge étroite, dont l'altitude varie évidemment selon l'exposition, la latitude, etc., mais que l'on arrive assez bien à préciser pour un massif donné et une exposition donnée. Ce seuil correspond à la fois à l'influence directe de l'altitude sur l'arbre — température trop basse pour assurer la croissance normale du végétal, etc. — et à son influence indirecte — faiblesse de la production de sol, nature même de ce sol, etc. Chaque plante, bien entendu, a son propre seuil d'extinction en altitude; mais la forêt est un organisme qualitativement différent des individus qui la composent, et cet être vivant a aussi sa limite.

Il en est de même pour les cultures : au-delà d'une certaine altitude, on ne peut plus procéder à certaines récoltes, soit que la plante ne vive pas, soit qu'elle ne mûrisse pas à temps, soit que le rendement passe sous le seuil en deçà duquel la culture n'est plus rentable. Et, en outre, la zone cultivée a une limite supérieure, fonction non seulement des conditions écologiques mais encore des conditions du travail humain (pente, éloignement des centres d'habitat et donc seuil dans la distance à parcourir, etc.). L'observation montre que la marge est étroite, ici aussi, et qu'on ne passe guère progressivement de la zone cultivée à celle des incultes. La limite varie selon les époques, c'est-à-dire selon les conditions socio-économiques : car celles-ci, et notamment la pression sociale, liée à la densité de la population et à l'organisation de la société rurale, éloignent ou rapprochent les seuils de rentabilité de la culture, de la distance à parcourir, etc.

La limite inférieure de la forêt résulte à la fois de l'action de l'homme et des conditions écologiques; en particulier, elle peut être influencée par la hauteur annuelle des précipitations, elle-même conditionnée par l'altitude. Nous sommes ici en présence d'un complexe particulièrement riche, dont le jeu ne s'en traduit pas moins par des discontinuités fondamentales.

b. L'étagement des processus d'érosion a également été mis en évidence. La « limite des neiges éternelles » n'a peut-être pas le caractère absolu qu'on a parfois voulu lui conférer (1), mais il existe toute une série de discontinuités. L'agent essentiel, mais non exclusif, paraît en être le nombre d'alternances gel-dégel : on passe de la zone englacée à la zone à cryoclastie active puis à la zone à ruissellement dominant, ce qui suppose un renversement dans l'intensité de la désagrégation mécanique. L'altitude des seuils de relais varie évidemment selon l'exposition et la latitude : à certaines latitudes, dans l'hémisphère N, les faces S sont plus exposées parce que le nombre d'alternances gel-dégel est supérieur à celui que subissent les faces N moins souvent dégelées; à de plus faibles latitudes la dissymétrie se renverse parce que le nombre d'alternances est supérieur sur les faces N, les faces S étant moins souvent gelées.

c. Des discontinuités semblent bien avoir été décelées aussi en fonction de la bathymétrie, où c'est la pression qui représente la variable indépendante : les températures minimales se situent, selon les océans, entre 3 000 m et 5 000 m et croissent à nouveau au-delà, à partir d'une certaine pression (2).

(1) Cf. G. GALIBERT, [39], p. 32, qui l'exécute d'ailleurs un peu rapidement, sans apporter de précisions.

(2) A. GUILCHER, [47], p. 29.

La structure de l'écorce terrestre semble également comporter des discontinuités, liées à la profondeur — ou à la distance au noyau, ce qui revient au même (3).

B. La latitude

Le changement de latitude commande la variation graduelle de la quantité de calories reçue par unité de surface. Or cette progression régulière provoque des conséquences contradictoires et entraîne des sauts.

On observe de fort nombreuses lignes de discontinuité, parfois matérielles, dont l'étude est à la base de la géographie zonale. Cela tient notamment à ce que les changements de valeur dans la quantité de radiations reçue sont source de profondes modifications pour la pression, l'évaporation, et finalement les vents et les précipitations. Or ces modifications se manifestent de façon discontinue, les éléments du climat passant par divers seuils de renversement entre l'équateur et le pôle.

La rotation de la Terre, agissant sur les mouvements de l'atmosphère, contribue à renforcer les contrastes en organisant la circulation zonale; cela aboutit même à matérialiser certaines discontinuités (front polaire, front intertropical, etc.).

Toute la géographie zonale, avec les discontinuités qu'elle implique, tient donc finalement à l'action de deux variations continues : l'incidence des rayons solaires et la rotation de la Terre.

Les phénomènes sont compliqués par l'inclinaison de l'axe de la Terre, cause du balancement saisonnier : les lignes de discontinuité se déplacent sans cesse et leur mouvement même fait, de la zone qu'elles balaient, une zone climatique originale, créant ainsi d'autres discontinuités.

Celles-ci sont généralement des seuils d'inflexion, c'est-à-dire, dans l'espace, des marges. Mais on observe aussi des seuils angulaires, des passages brusques : dans l'atmosphère (les fronts) et plus encore parmi les conséquences au sol (végétation, systèmes d'érosion). Les seuils de renversement sont particulièrement nombreux, notamment dans l'évolution de la quantité des précipitations en fonction de la latitude, de l'amplitude thermique et même des températures absolues, qui ne décroissent pas uniformément de l'équateur au pôle. Comme pour l'altitude, on observe donc des limites végétales, qui sont suffisamment nettes pour être dessinées sur les cartes et que l'on met parfois en rapport avec des valeurs simples du climat (une isohyète annuelle, etc.) correspondant pour les plantes à des seuils d'extinction. Mais il y a aussi des limites et des seuils de relais dans la pédogénèse ou dans les systèmes d'érosion. Cela ne signifie évidemment pas que le ruissellement en nappe est inconnu dans le Massif central français, mais que sa place dans le complexe morphogénétique est tout autre.

Développer ce chapitre serait traiter toute la géographie zonale : nous avons seulement voulu montrer la généralité des phénomènes de discontinuité entraînés par des modifications continues d'une variable.

2. La pente des versants

La pente des versants est une autre de ces valeurs dont la progression graduelle fait naître des discontinuités. L'étude des versants est même, sans doute, le domaine où les géomorphologues constatent le plus volontiers des phénomènes de seuil (4).

A. Une première observation fondamentale est que, dans une région donnée, certains versants sont à l'abri de l'action de tel processus en raison de leur pente, tandis que d'autres sont exposés.

On en a déjà donné des exemples dans la Première partie. Ils nous ont rappelé que, selon la valeur

(3) A. SCHEIDEGGER, *Principles of Geodynamics*. Berlin, Springer, 1963, 362 p., et compte rendu par P. BIROR, *Annales de Géographie*, 399, sept. 1964, p. 575.

(4) Cf. J. TRICART, [95].

de la pente, les processus — ou du moins la part de chaque processus — changent. Creep, ruissellement diffus ou concentré, glissements, éboulements se relaient, sous un même type de climat, selon la pente. D'autre part, certains de ces processus ne se manifestent pas, quelle que soit la valeur de la pente, en deçà d'un seuil de précipitations. Dans chaque région, on peut mesurer les valeurs-seuils à partir desquelles se déclenche telle ou telle action, pour des sols et pour des facteurs météorologiques donnés. Certains de ces processus sont, au moins partiellement, en interaction positive (désagrégation mécanique et altération chimique), d'autres en interaction négative, comme le ruissellement et le glissement (5).

On peut même voir apparaître des discontinuités dans l'hypothèse où toute l'évolution est lente, continue, sans précipitations violentes : il est bien connu que certains versants en roche cristalline sous climat tropical humide s'altèrent profondément jusqu'au moment où le manteau de débris est si épais qu'il glisse sur la roche saine; il existe une valeur de la pente au-delà de laquelle le manteau ne peut pas tenir. Bien entendu, ces pentes-seuils sont variables selon les roches sous un climat donné — et selon les climats pour une roche donnée, ce qui contribue à expliquer les irrégularités du profil des versants taillés dans des roches différentes.

B. Une deuxième conséquence est que, sa pente s'adoucissant, sous l'action d'un certain processus, ou plus exactement d'un certain complexe d'érosion, le versant parvient à une pente-seuil au-delà de laquelle ce complexe n'est plus actif, ou ne l'est qu'exceptionnellement. Il y a alors *relais dans les processus dominants*, ce qui peut entraîner un changement de forme. Mais, pour un type de climat donné, il n'y a pas une infinité de relais : on peut passer des éboulements dominants aux ravinements dominants puis au ruissellement diffus dominant, mais on n'aura pas forcément des glissements, etc. *Il y a donc pour un type de climat donné une pente-limite* au-dessous de laquelle le versant ne peut plus être abaissé sensiblement : un seuil de plafonnement. A partir de là, le versant recule parallèlement à lui-même en conservant cette pente-limite, ou bien continue à se dégrader mais par des processus extrêmement lents qui rendent l'évolution presque insensible.

J. TRICART écrit : « Le façonnement des versants par les divers processus mécaniques ne peut s'exercer, pour chaque processus, que lorsque le versant dépasse un certain seuil, une certaine pente-limite. Cette pente-limite varie suivant les zones morpho-climatiques et les roches. Lorsqu'elle n'est pas atteinte, le versant est stable vis-à-vis du processus considéré » (6). Cela ne signifie pas qu'il n'évolue plus du tout : il est seulement exposé à des processus moins actifs, jusqu'à un point à partir duquel il apparaît figé.

Un élément fondamental dans l'étude de l'évolution morphologique est donc la détermination des pentes particulièrement exposées sous tel type de climat, ou relativement immunisées à son égard. C'est là une idée sur laquelle J. TRICART a fortement insisté, et que nous croyons très féconde. Les supputations sur l'avenir lointain d'un versant donné, les discussions sur le point de savoir s'il doit s'abaisser progressivement ou reculer parallèlement à lui-même sont vaines tant que l'on ne précise pas la pente initiale et le système d'érosion envisagé.

Un changement de climat peut donc avoir des conséquences très diverses selon que les pentes sont au-dessus ou au-dessous du seuil à partir duquel les processus dominant sous ce nouveau climat sont véritablement agressifs : une grande partie des versants façonnés sous climat froid et soumis de nos jours au système d'érosion de la zone tempérée sont relativement immunisés; au contraire, des versants façonnés sous climat semi-aride seraient très exposés si le climat devenait humide.

C. Il paraît d'autre part évident qu'un versant est, à tout moment, exposé à tel ou tel processus vis-à-vis duquel sa pente n'a pas dépassé le seuil d'extinction, *quelle que soit l'action de la rivière*.

Il est alors difficile de comprendre qu'on ait pu écrire que, si un nouveau « cycle » se déclenche et amène la rivière à creuser, « la pente supérieure du versant ne se modifie plus » (7). Si ce nouveau

(5) Cf. R. BRUNET, [24].

(6) J. TRICART, [95], p. 115.

(7) P. BIROT, [15], p. 15.