

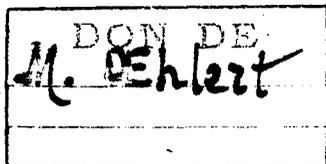
RECHERCHES
SUR
LES FORMATIONS
ERRATIQUES,

PAR
HENRI HOGARD.

—
1858.

—
PARIS,
LIBRAIRIE DE F. SAVY, 20, RUE BONAPARTE.

—
ÉPINAL,
DE L'IMPRIMERIE DE VEUVE GLEY.



sciences de la terre
BIUS
JUSSIEU
CADIST

UNIVERSITÉ DE PARIS
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE

AVERTISSEMENT.

S'il est vrai, comme cela paraît être constaté et démontré, que le *lehm*, ou *boue glaciaire*, soit le produit de la trituration des matières minérales soumises à l'action des glaciers, on doit le retrouver dans tous les dépôts erratiques, moraines profondes, latérales et frontales, aussi bien que dans les bassins où il a été entraîné par les eaux et déposé sous forme de sédiment; et, évidemment, sa présence prouvera que les accumulations soit *erratiques*, soit *alluviennes*, dans lesquelles il existe comme élément essentiel, n'ont pu précéder les glaciers anciens ou actuels.

Dans les dépôts de comblement que j'ai regardés et que je continue à considérer comme des *moraines*

profondes, je n'ai aperçu nulle part une division en deux étages; le premier, ou inférieur, *dépourvu de boue glaciaire*, et le deuxième, ou supérieur, en offrant seul et exclusivement.

Le *lehm* s'y rencontre toujours, dans toutes les parties et à toutes les profondeurs connues, comme élément essentiel et constitutif; et si ces comblements étaient d'origine *diluvienne*, ils appartiendraient évidemment à la période glaciaire. Mais les caractères des nappes de comblement, l'arrangement et la distribution des matériaux qui les composent, aussi bien que la présence même du *lehm* ne permettant pas d'admettre l'action exclusive des cours d'eau dans le transport des matériaux dont elles se composent, ainsi que j'ai cherché à le démontrer dans les observations qui vont suivre, je n'ai pas encore entrevu la nécessité de modifier la classification qu'il m'a paru naturel et rationnel d'adopter pour les terrains superficiels.

Dans ces diverses formations, on retrouve les preuves soit de l'action glaciaire exclusive, soit de l'action combinée de la glace et de l'eau, enfin de l'action exclusive de cette dernière cause; et, dans mes observations, je me suis constamment attaché à déterminer les caractères propres aux divers dépôts *glaciaires* ou *alluviens* supérieurs aux terrains tertiaires et qu'il me semble toujours possible de séparer les uns des autres.

Mais je n'ai reconnu nulle part aucun indice de terrains placés tantôt au-dessous, tantôt au-dessus

des dépôts glaciaires, et dont on attribue l'origine à des courants puissants qui auraient inondé les plaines, les vallées, et auraient recouvert même des montagnes élevées, soit avant l'apparition des anciens glaciers, soit au moment où ils se sont retirés : *terrains* et *causes* également imaginaires dont, jusqu'ici, on n'a su ni définir les caractères et la position géologique, ni montrer les preuves au moyen de traces que des courants extraordinaires n'auraient pu manquer de laisser sur le sol exposé à leur action violente.

Si je me suis trompé dans mes appréciations, je désire vivement être éclairé et désabusé; mais, en attendant, et avant d'admettre, sans preuves, les hypothèses nécessaires ou superflues auxquelles on a habituellement recours pour expliquer la formation des terrains superficiels, la présence de la *boue glaciaire* dans les dépôts de comblement, que je considère comme des moraines profondes, demeure un fait acquis et que j'ai vérifié avec soin : il m'a servi à déterminer l'âge et l'origine de ces nappes qualifiées de diluviennes, et qui n'ont pu ni précéder l'époque des glaciers, puisque le lehm prouve l'existence de l'action glaciaire au moment où elles se sont formées, ni s'étaler postérieurement, puisqu'elles servent de base, non-seulement à toutes les moraines frontales les plus avancées, les plus anciennes, aussi bien qu'à celles des glaciers en activité, mais encore à tous les dépôts alluviens anciens, récents et actuels.

Je viens encore aujourd'hui insister sur cette question et essayer de confirmer, par de nouvelles preuves, les observations que j'ai publiées sur les terrains superficiels des Alpes de la Suisse et des Vosges.

25 Novembre 1858.

I.

OBSERVATIONS

SUR LE TERRAIN ERRATIQUE DU BASSIN DU RHIN, ENTRE BALE ET COBLENCE.

La plaine du Rhin, entre les Vosges et la Forêt-Noire, est une immense nappe de comblement, formée de matériaux provenant de ces deux chaînes, du Jura et des Alpes : c'est dans ce dépôt que le Rhin et les diverses rivières qui viennent s'y jeter *ont creusé leurs lits.*

Cette nappe, d'une régularité parfaite, présente une pente longitudinale très - faible de 0^m,001^m moyennement : transversalement elle paraît plane et horizontale, mais elle forme cependant deux plans légèrement inclinés, à partir du pied des bords du bassin vers le lit du fleuve : elle se retrouve et se prolonge dans toutes les vallées supérieures,

mais avec cette différence, bien entendu, qu'on ne rencontre plus, dans chacun de ces bassins, que des matériaux provenant des masses minérales dans lesquelles ces cavités sont ouvertes.

A la hauteur de Bâle, c'est-à-dire au point où la vallée parvient à la limite de la Suisse, le Rhin est bordé de buttes de cailloux et de terrasses qui se prolongent jusque près de Neuf-Brisach, sur ses deux rives, mais qui disparaissent entièrement entre le Kaiserstuhl et Bingen (1); et dans cette région la surface d'une grande partie de la nappe ne dépasse plus que très-faiblement le niveau du fleuve.

Dans ce comblement provenant des mêmes sources, formé dans toutes ses parties indistinctement des mêmes matériaux, on a cependant établi deux divisions : l'une comprenant le dépôt situé hors des atteintes des plus hautes eaux, nommé gravier ancien ou *diluvium*, l'autre, comprenant tout l'espace accessible aux eaux du Rhin, et dans lequel elles exercent leur action, considéré comme un terrain plus récent : ce sont les *alluvions modernes*.

Cette séparation naturelle et rationnelle en apparence, ne me semble cependant pas avoir la valeur qu'on y attache généralement : les deux dépôts font évidemment partie d'un seul et même

(1) M. Daubrée. *Observations sur les alluvions anciennes et modernes du bassin du Rhin. Mémoires de la Société d'histoire nat. de Strasbourg.* 2. IV.

tout ; et si le Rhin attaque et entame avec la plus grande facilité des amas de sable et de cailloux qu'il remanie , déplace et entraîne graduellement , il a évidemment trouvé sur place ces matériaux dont *il n'a certainement pas effectué le transport.*

Dans un précédent mémoire sur le terrain erratique des Vosges (1), j'avais déjà exprimé cette pensée, et je disais : « le Rhin coule sur une nappe de comblement dont l'épaisseur n'est pas connue, et ce dépôt, quelle que soit son origine, est parfaitement disposé pour subir l'action du fleuve qui attaque les berges, déplace des masses de graviers et en forme des bancs qu'il déplace ou modifie : mais que ces eaux viennent à se retirer subitement, pour laisser voir cette vallée d'érosion, parsemée de proéminences irrégulières et séparées par des canaux sinueux et anastomosés, on aura sous les yeux un exemple de la distribution que l'on remarque dans la plupart des terrains de comblement et dont on n'expliquait pas autrement la formation qu'en invoquant l'action des eaux. »

Ce travail du fleuve vient d'être décrit avec beaucoup de détails et avec toute la clarté et la science que M. Daubrée plus que tout autre pouvait apporter dans un mémoire sur cette question (2). Ses indications sont tellement précises et tellement utiles

(1) H. Hogard. *Coup d'œil sur les terrains erratiques des Vosges*, 1848, p. 43.

(2) M. Daubrée. Mémoire déjà cité.

à la cause que je m'efforce de soutenir, que je ne puis me dispenser d'en citer ici quelques passages.

« Le Rbin, en déplaçant son thalweg, crée dans son lit des *proéminences* de formes très-surbaissées, que l'on nomme *Bancs ou îles*, ayant à l'amont des pentes très-douces, généralement inférieures à un degré, et se terminant à l'aval par des talus rapides de 25 à 35 degrés : les cailloux remontent doucement le plan faiblement incliné pour arriver à l'arête de la portion des deux surfaces qui plongent en sens inverses ; alors ils tombent et sont bientôt recouverts par d'autres cailloux qui suivent la même marche (*Pl. 2, fig. 12*).

« Quand le banc ou l'île est composé de cailloux à sa partie supérieure, leur disposition présente un trait frappant, particulièrement vers l'amont du banc : ils sont imbriqués les uns sur les autres, à la manière des écailles de poissons ou des tuiles d'un toit. Cette disposition ne s'observe pas dans toute l'épaisseur d'un banc correspondant à une crue unique : mais elle se montre à différentes hauteurs, ainsi que nous le représentons (*Pl. 2, fig. 13*).

« Les bancs présentent des lits successifs d'accroissement qu'on reconnaît facilement, car la surface d'un banc est toujours formée de gravier bien purgé de sables et de menus cailloux, tandis qu'au contraire le gravier situé au-dessous de cette couche superficielle qui a été lavée est toujours fort mélangé de menus débris. »

Les îles cependant sont quelquefois attaquées soit en amont, soit latéralement par le courant, et elles offrent une disposition inverse, c'est-à-dire un talus plus incliné vers le courant et une pente plus faible vers les rives ou dans la direction du cours d'eau, entre Bellingen et Istein, rive droite. (*Pl. 2 et 14*).

Tel est en quelques mots le tableau de l'action qu'exerce journellement le Rhin, dans les limites de son domaine actuel : quant aux autres dépôts *comparables* à ceux que roulent les cours d'eau, quoique souvent recouverts par le Rhin, et que l'on voit s'élever jusqu'aux sommités de plusieurs collines, on les assimile avec raison à ces derniers et l'on paraît admettre encore aujourd'hui que les cours d'eau actuels ne pouvant les atteindre, même dans les plus grandes crues, leur production est une conséquence naturelle de l'apparition de courants plus violents qui, à une époque plus reculée auraient *parcouru les plaines et sillonné les montagnes*.

La nappe de comblement de la vallée du Rhin constitue, sur une longueur de plus de 270 kilomètres, de Bâle à Bingen, toute la plaine comprise entre les chaînes des Vosges et de la Forêt-Noire, dont la largeur moyenne est de 30 kilomètres : il est nécessaire pourtant de noter en passant quelques-unes des dimensions transversales de ce dépôt : ainsi il a, savoir :

A Bâle.	6 kilomètres.
A la hauteur de Mulhouse . . .	31
A la hauteur de Sultz	45
A la hauteur de Manheim . . .	55

Il semble se terminer à l'entrée du défilé de Bingen, mais on en voit quelques traces sur les rives du fleuve dans le défilé même, et il se développe de nouveau à partir de Coblençe, où les comblements du Rhin et de la Moselle viennent se réunir.

A partir de Mulhouse, il s'avance dans une sorte d'anse remontant vers l'amont, entre les Vosges, le contrefort que coupé le canal du Rhône au Rhin à Valdieu, et le promontoire formé par une série de collines se rattachant à l'extrémité de la chaîne du Jura, près de Bâle, et se terminant à Rœdisheim près de Mulhouse, entre cette ville et Rixheim.

La masse principale de ce comblement se compose de matériaux provenant des Alpes et du Jura-Suisse, à partir des environs de Mulhouse. Sur toute la rive gauche, ainsi que sur la rive droite, il est recouvert partiellement de nappes de galets provenant des Vosges et de la Forêt-Noire : puis enfin un dépôt assez puissant de lehm surmonte et recouvre le tout sur différents points.

Laissons de côté, pour un moment, les buttes élevées de galets, les plateaux couronnés de ces débris et de lehm, élevés au-dessus du niveau de cette nappe, ou de la plaine, et cherchons d'abord à nous rendre compte de la manière dont la première partie du comblement a pu avoir lieu.

Le Rhin dans ses limites actuelles, et lors des plus grandes eaux, ne saurait plus en recouvrir la surface; aussi on reconnaît, dans tous les écrits relatifs à la question que je veux étudier, que des

courants *accidentels*, *extraordinaires*, mais tantôt violents, tantôt assez calmes, ont parcouru la vallée avant l'époque actuelle, et ont agi pendant tout le temps nécessaire pour opérer ce remblai d'une profondeur inconnue, et dont la surface, entre Mulhouse et Bingen seulement, est de plus de 800,000 hectares.

Si l'on admet qu'un cours d'eau assez puissant pour charrier les graviers et les blocs que renferme ce dépôt ait occupé la vallée du Rhin, il faudra supposer en même temps qu'il s'étendait d'une rive à l'autre, et qu'il touchait à la fois aux pieds des deux chaînes latérales; et comme on ne peut admettre qu'un courant de 30 kilomètres moyennement de largeur ait eu la même force, la même vitesse à tous les points de sa section, on arrivera tout naturellement à supposer un lac occupant le bassin traversé par le cours du Rhin.

S'il en était ainsi, on rencontrerait sans doute sur un point quelconque des bassins supérieurs quelques exemples de faits produits, dans les mêmes circonstances, quoique par des causes beaucoup plus faibles, mais agissant cependant suivant des lois invariables.

Quand une rivière se jette dans un lac, elle abandonne près de son embouchure les matériaux qu'elle charrie, sous forme d'atterrissements successifs constituant des nappes coniques diversement inclinées. Les pentes de ces déjections varient suivant la nature des matières transportées, le sable et le

limon s'abaissent graduellement sous un angle beaucoup plus faible que le gravier et les galets, et les divers affluents produisant dans le même temps des atterrissements, différant entre eux comme les terrains d'où ils proviennent, il se forme dans le bassin, et à portée de ses rives, des dépôts distincts, indépendants, qui tendent cependant à se rapprocher les uns des autres, et finalement à s'unir et à former une masse dans laquelle le mélange des matériaux ne saurait cependant s'opérer complètement; et leur réunion peut être favorisée par les couches de sédiments qui se déposent sur tous les points où l'influence des courants cesse de se faire sentir.

Une section faite dans un terrain ainsi formé offrirait des couches diversement inclinées et recourbées, reliées par les assises horizontales des sédiments, et jusqu'ici il ne paraît pas que l'on ait observé rien de semblable dans la vallée du Rhin.

Le comblement de cette vallée d'ailleurs ne présente pas une réunion de plusieurs accumulations diverses reliées par un dépôt de sédiment distinct: c'est un plan incliné régulier, à la surface duquel, indépendamment du lehm, dont je parlerai plus tard, on observe quelques couches limoneuses, mais dont la masse est réglée parallèlement à la pente du terrain, et de *vastes champs de galets* parfaitement nivelés et dans l'arrangement desquels rien ne rappelle des nappes de déjection produites par des cours d'eau plus ou moins violents.

Une coupe prise près de Rixheim (*Fig. 15, pl. 2*)

montre les galets distribués sans ordre dans toute la masse, des sables et de petites couches limoneuses ; les galets, fig. 16 à 22, offrent des formes diverses, ils sont arrondis ou anguleux, à faces planes et polies se raccordant à des contours plus ou moins arrondis. Sur quelques points ils sont agglutinés comme le nagelfluh par un ciment argilo-calcaire. Ceux qui sont libres sont très-souvent enduits d'une *boue fine ou de lehm* évidemment glaciaire : la masse paraît avoir été fortement comprimée, et nulle part on n'y observe ces couches de galets imbriqués marquant divers étages comme dans les îles ou bancs formés journellement par le fleuve (Pl. 2, fig. 12 et 13), et l'examen de ce dépôt prouve que ses éléments ont été mouillés, pénétrés par les eaux, mais qu'ils n'ont en aucune façon été lavés et roulés par des courants.

Mais dans un bassin où l'on suppose qu'un cours d'eau principal et ses affluents viennent se jeter, chargés de détritits et de galets, le comblement ne saurait être complété et dressé que par des dépôts de sédiment remplissant les plis des déjections, et tendant à former graduellement une surface horizontale; et dans le cas où les affluents d'une rive seraient plus nombreux et plus considérables que ceux de la rive opposée, le comblement offrirait encore une masse irrégulière beaucoup plus puissante d'un côté que de l'autre.

En ce qui concerne la plaine du Rhin, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'abord de l'ar-

rangement des matériaux provenant des Alpes ; que leur accumulation produite par un cours d'eau ayant une issue unique, à Bâle, loin de former une grande nappe, renflée vers le milieu et déprimée vers les rives, offre au contraire deux plans légèrement inclinés vers le thalweg, et suivant sur chacune d'elles une ligne de pente continue. Le Rhin aurait donc, contrairement à ce qui a lieu dans le régime des cours d'eau actuels, rejeté d'abord les matériaux transportés sur ses rives, puis continué le comblement successivement des bords vers le centre.

Mais dans un lac, comment expliquer ces déjections latérales, composées de matériaux souvent volumineux, et sur des points où les eaux nécessairement devaient être calmes ? Je doute qu'on y puisse jamais parvenir.

Ce lac aurait reçu d'ailleurs le tribut de nombreux affluents dont les rivières actuelles, beaucoup plus faibles qu'au temps des *inondations générales*, marquent encore le cours. Ces rivières assurément ne pouvaient mêler leurs eaux à celles du Rhin sans mêler leurs alluvions aux siennes, ou tout au moins sans les intercaler dans la masse principale du dépôt : mais dans la nappe ce mélange n'existe nulle part, et le comblement alpin est partout nettement séparé du comblement provenant des Vosges et de la Forêt-Noire et recouvert par lui : et cette séparation est une indication précieuse, bien constatée par les auteurs qui se sont plus spécialement occupés

de cette question et dont le témoignage ne saurait être révoqué en doute.

En lisant les divers mémoires qui ont été produits sur ce vaste dépôt, et quelle que soit l'attention qu'on apporte dans leur examen, on ne trouve nulle part une explication complète et détaillée de la manière dont ce comblement principal s'est opéré : un ou plusieurs courants diluviens, *assez violents*, si l'on tient compte du volume de certains blocs, sont les seuls agents que l'on fasse intervenir, pour encombrer le fond de la vallée en premier lieu, et régler ensuite le plan incliné par des travaux successifs.

Mais quels exemples avons-nous de cours d'eau procédant de cette façon, remplissant le fond d'un bassin, dressant avec une régularité parfaite leurs déjections, et finalement, après s'être restreints dans les limites qu'ils ne pourront plus franchir, se creusant des coupures profondes pour y régler et y fixer leurs cours ?

Les torrents assurément exécutent d'immenses travaux de déblais et de remblais ; on rencontre à chaque pas dans les Alpes des accumulations anciennes ou récentes produites par ces puissants agents de destruction. Les cones de déjection n'ont sans doute aucun rapport avec la nappe régulière dont il s'agit, mais cependant ils font voir que les remblais font toujours suite à des déblais provenant du bassin de réception, souvent arrachés aux flancs des *goulots d'écoulement* à la sortie

desquels les accumulations *seulement* commencent à se produire, et le comblement de la plaine du Rhin est un immense remblai dont on connaît les sources et qui n'existe pas exclusivement au-dessous du point à partir duquel le Rhin trouvant une large issue, un bassin, aurait pu répandre ses eaux chargées de matériaux, mais qu'on retrouve sans interruption, dans tous les passages resserrés où la vitesse des courants devait singulièrement s'accroître, et jusque dans le fond des bassins de réception eux-mêmes, c'est-à-dire à la source des cours d'eau, dans les goulots d'écoulement aussi bien qu'à de grandes distances.

Si l'on jette les yeux sur une coupe transversale du Rhin prise dans une partie de la vallée entre Bâle et Neuf-Brisach, et ne comprenant qu'une très-faible étendue de terrain sur chacune des rives, on remarque en dehors du lit actuel une coupure plus élevée dans laquelle les eaux à une époque reculée ont dû exercer leur action; et cette disposition en *terrasses successives* indique les réductions successives du fleuve (*Pl. 2, fig. 3*).

Les terrasses les plus élevées *a b*, se rattachent aux plans inclinés de la nappe de comblement, les talus *c c*, sont les premières coupures que les eaux ont dû y creuser, et au delà desquelles on ne remarque aucune trace d'érosion du courant principal. Enfin les points *d d*, forment les limites du lit actuel, dans lequel s'exécutent les déplacements, les transports de matériaux provenant de

la masse générale de comblement et constituant les bancs ou îles dont le nombre est si considérable dans le lit même du Rhin.

On comprend qu'à l'époque pendant laquelle les eaux s'élevaient vers les talus *c c*, elles exécutaient des travaux analogues à ceux qu'elles continuent aujourd'hui sur une plus petite échelle, et que des bancs plus considérables *x x*, dont les surfaces se raccordaient à la ligne du niveau *d d*, ont été minées par leur base et se sont abaissées graduellement à mesure que le volume des eaux diminuait. Mais ce que rien n'explique dans les observations relatives au régime du fleuve, c'est ce nivellement régulier des terrasses supérieures *a b*, sur chacune de ses rives, à moins qu'on ne démontre qu'elles font partie d'un lit plus élevé encore et dont il serait alors nécessaire de déterminer les limites que l'on n'aperçoit nulle part.

En supposant que la coupe n° 5 (*Pl. 2*) représente la totalité de la nappe, on ne parviendrait pas encore à lever tous les doutes et à détruire toutes les objections concernant le mode de comblement. En effet, comment concilier les idées admises et les faits observés. On nous apprend que le Rhin a d'abord comblé le fond de la vallée et qu'il a ensuite commencé à creuser son lit, c'est-à-dire à détruire la régularité de la nappe sur les points où il coule, et qu'il l'attaque précisément au moment où sa force d'action diminue en raison de la réduction qu'il subit dans son volume et par conséquent dans sa vitesse.

Avec une vitesse plus considérable, s'il s'était répandu sur la nappe, il y aurait creusé des cavités plus ou moins profondes, et en un mot il aurait converti toute la plaine en un terrain hérissé de mamelons et sillonné par un grand nombre de canaux irréguliers. Que les bancs ou îles se soient abaissés comme on doit admettre que se sont affaissés ceux qui sont ponctués sur la coupe, et que hors de la veine fluide, des dépôts de détritux et de sables aient été rejetés sur cette surface irrégulière, pour faire disparaître les inégalités, les cavités les plus prononcées, il resterait encore des signes certains de l'action des eaux et révélant leur passage sur les terrains qu'elles ne peuvent plus envahir aujourd'hui : ainsi l'on aurait les dispositions indiquées dans la *Fig. 1, pl. 2*, représentant les terrasses et les îles à la hauteur de Bellingen (ou la figure 2), telles que les laisserait le Rhin s'il venait à subir la réduction supposée dans cette coupe.

Mais dans les fouilles pratiquées sur tant de points de la vallée, on ne voit nulle part les ondulations de la surface, et l'on reconnaît au contraire des couches parfaitement dressées, et un arrangement qu'un agent moins inconstant qu'un fleuve rapide a seul pu produire. Et je ne dois pas omettre de noter en passant un fait bien connu de tous ceux qui ont étudié le régime des cours d'eau, c'est que les détritux, les sables ou menus matériaux rejetés ou abandonnés sur les rives et sur tous les points où l'influence des courants cesse de se faire sentir,

forment des accumulations à surfaces courbes et irrégulières, et que nulle part ils ne constituent des remblais coordonnés soit à un plan régulier longitudinalement, soit transversalement à des plans uniformément dressés et placés latéralement à des hauteurs correspondantes.

Le Rhin *n'exécute pas de nouveaux remblais dans son lit*, qu'il tend au contraire à approfondir et à dégager des obstacles qui entravent sa marche; les remaniements qu'il opère sous nos yeux en sont une preuve formelle : aussi est-il probable que les partisans de la théorie diluvienne ne considèrent pas le comblement de la plaine du Rhin comme un remblai exécuté dans un immense lit d'un fleuve d'une puissance extraordinaire, mais comme une accumulation dans *un vaste bassin* de tous les matériaux que les eaux diluviennes auraient enlevés aux hautes régions et dont elles ont ensuite opéré le triage et l'arrangement au moyen d'oscillations particulières :

Le simple examen des profils n° 4 (*Pl. 2*) et n° 1, (*Pl. 1*), représentant la nappe entre Schlierbach et le Petit-Kembs, entre Grisheim et Sultz, les terrasses élevées au-dessus du Rhin, et les limites de son lit actuel, suffira pour démontrer combien il faudrait de bonne volonté et de dévouement à la cause diluvienne pour admettre cette explication purement hypothétique. En effet, de Schlierbach au grand Kembs, rive droite, la largeur de la nappe est de 6 kilomètres et sa pente transversale est de 0^m,0015;

entre les deux Kembs, c'est-à-dire, de l'une à l'autre des arêtes des terrasses supérieures, la distance est de 1,500 mètres et le lit du Rhin n'a pas plus de 600 mètres de largeur.

A la hauteur de Sultz on a les distances suivantes, savoir :

Largeur de la nappe de Sultz à Blodelsheim,	
ci.	24,000 ^m
De Blodelsheim à Grisheim, terrasses	
supérieures.	4,000
Au delà de Grisheim.	2,000
La largeur du lit du Rhin.	1,500 ^m

La nappe entre ces derniers points a donc 30 kilomètres, soit vingt fois la largeur du lit actuel du fleuve qui ne parviendrait à la rive gauche du comblement, près de Sultz, qu'en s'élevant de 55 mètres au-dessus de son niveau actuel, hauteur qu'il aurait nécessairement dû dépasser de beaucoup, pour opérer des transports au point où 55 mètres de plus lui permettraient seulement de venir affleurer la surface du comblement dont la puissance est inconnue.

Les profils de quelques parties habilement choisies de la plaine et du lit du Rhin peuvent, il faut l'avouer, détourner l'attention du lecteur et, au moyen de quelques faits isolés, sinon lui donner la conviction que ce qu'on lui représente est le résultat de l'action exclusive des eaux, au moins lui laisser quelques doutes à cet égard; et si l'on évite surtout de lui rappeler que les galets de la plaine du Rhin *et ceux des moraines profondes non contestées* des

hautes vallées sont absolument identiques : fait positif, que je me contente de rappeler en passant (*Pl. 2, fig. 15 à 23*).

Mais si l'on substitue aux croquis partiels produits jusqu'ici des profils et une carte de l'ensemble du dépôt, dans la partie supérieure du bassin, c'est-à-dire entre Bâle et Sultz par exemple, on reconnaîtra immédiatement qu'il y a autre chose à considérer ici que l'action d'un cours d'eau soit entre les terrasses marquant ses limites, soit sur une plaine basse dans laquelle il a pu *divaguer* à diverses reprises, et former quelques atterrissements que l'on montre comme des preuves de l'origine diluvienne de la masse du comblement.

En effet, si l'on indique sur un plan l'ensemble du dépôt et les dispositions *principales* de ses diverses parties, on voit ce dépôt non-seulement occuper d'un côté à l'autre du bassin tout ce que l'on nomme la plaine du Rhin, mais encore recouvrir les collines et les proéminences qui s'avancent, à partir des derniers contreforts de la chaîne du Jura près de Bâle, jusqu'à Mulhouse, entre les bassins du Rhin et de l'Ill, et se rattachant aux rameaux avancés du massif du Baärenkopf par le col de Valdieu, à la limite supérieure des bassins de l'Ill et du Doubs.

Le dépôt de cailloux s'élève à plus de 100 mètres au-dessus du niveau du Rhin à Bâle, et forme, à l'emplacement même de cette ville, des buttes qui s'abaissent graduellement jusqu'au niveau de la

plaine dans la direction de Blotzheim : il se retrouve sur les hauteurs de Ranspach, de Folgensberg, d'Altkirch à 446, 455, etc., au-dessus du niveau de la mer, soit à 180 mètres moyennement au-dessus du Rhin à Bâle, et à 214 mètres au-dessus de la plaine à Schlierbach : sur d'autres plateaux les cailloux disparaissent et sont remplacés par le lehm qui s'étend sur toutes les sommités, entre Mulhouse et Francken, à 360 et 413 mètres, soit jusqu'à 170 mètres au-dessus de la plaine à Mulhouse.

Les cailloux des buttes élevées, près de Bâle, proviennent en grande partie des Alpes, du Jura et de la Forêt-Noire : mais *ils sont associés et mêlés à des cailloux vosgiens*, parmi lesquels on distingue parfaitement la *syénite feuille morte des ballons* (1).

Occupons-nous d'abord des cailloux des plateaux, désignés sur la carte géologique du département du Haut-Rhin, sous le nom de cailloux du lehm. (Voltz).

Ce n'est pas assez d'élever le Rhin de 17 mètres pour l'amener au pied des collines tertiaires à Schlierbach, il faudra encore le faire monter, non-seulement à la cote 455 mètres, c'est-à-dire à 222 mètres au-dessus de Kembs, mais plus haut encore, si l'on veut qu'il puisse charrier des cailloux sur le plateau de Folgensberg ; et, en effet, s'il était venu seulement affleurer ce point, il est bien évident qu'il n'aurait pu y transporter ces matériaux (*Pl. 1, fig. 2*).

(1) M. Daubrée. Mémoire déjà cité.

Cependant, en admettant seulement pour le moment une lame d'eau de 222 mètres touchant à la cote 455, on aurait, eu égard à la pente de la vallée, à peu près 212 mètres vers Blodelsheim : et si l'on veut apprécier très-approximativement la vitesse et le débit, en une seconde, du fleuve ainsi gonflé, en faisant usage de la formule qui s'applique le mieux aux cas de grandes vitesses, $u = 51 \sqrt{\frac{p s}{c}}$, dans laquelle,

s. La section du fluide serait moyennement,

$$\frac{30^k \times 212^m}{2} = 3,180,000$$
 mètres carrés.

2

p. La pente par mètre = 0^m001.

c. Le périmètre mouillé = 31^k.

On aura pour la vitesse $u = 15^m$,

Et pour le débit :

$q = 47,100,000$ mètres cubes par seconde,

4,121,280,000,000 mètres cubes par jour,
 soit une lame d'eau de 10 mètres de hauteur sur plus de 41 millions d'hectares par 24 heures.

Les sources d'un pareil fleuve sont taries en grande partie et, on le comprend, il serait difficile, sinon impossible, de déterminer même approximativement les lieux d'où elles auraient pu surgir : c'est même l'un des points les plus obscurs de la question. Et en supposant au Rhône, à l'Aar, à la Doire, au Tessin et aux autres rivières sortant des Alpes un débit proportionné à celui-ci, on parviendrait à d'innombrables quantités !

La vitesse du Rhin à Bâle est de 2 mètres 25 cent.

aux eaux moyennes et de 4 mètres 16 centimètres aux hautes eaux (1), et c'est plus qu'il n'en faut pour rendre son action redoutable aux riverains. Mais avec une vitesse de 15 mètres *au moins*, que serait devenue la symétrie de la plaine? Quels affouillements n'aurait-il pas produits sur un dépôt aussi meuble, que de proéminences n'eût-il pas élevées dans cet ancien lit qui présenterait aujourd'hui, et sur une large échelle, ce qu'offrirait en tout petit son lit actuel s'il venait momentanément à se trouver à sec? Et de plus on y rencontrerait une certaine quantité de blocs de dimensions souvent considérables, et quelle que soit l'énormité des résultats auxquels cette hypothèse conduit, il faut non-seulement les admettre dans *le système diluvien*, mais les exagérer encore si l'on veut expliquer la présence des cailloux à la cote 455; puisqu'il y a eu transport sur ce point, opération qui ferait supposer au courant assez de force, et par conséquent une lame d'eau d'une certaine importance.

Mais, d'un autre côté, le fleuve coulant des Alpes et inondant le bassin du Rhin, n'aurait pu suffire à lui seul pour compléter l'œuvre; les secours d'affluents non moins formidables devaient lui être nécessaires. En effet, la présence de cailloux vosgiens associés aux galets alpins et *mêlés* à ces derniers, prouve qu'il y a eu transport du massif du Ballon jusqu'aux terrasses placées à l'entrée de la plaine :

(1) M. Defontaine. *Annales des ponts et chaussées*, 1833.

or voici le trajet le plus direct et le plus facile que le torrent aurait dû suivre en quittant le bassin de réception d'où s'échappe aujourd'hui un cours d'eau plus modeste, la Doller (*Fig. 3, pl. 1*). Il fallait, tout d'abord, qu'il fût assez puissant pour franchir, et avec force, la cote 455 ou le plateau de Folgensberg, qu'il pût rejeter ses galets de la vallée de la Doller dans celle de Sulzbach (Le contrefort qui les sépare près de Lauw. n'a que 164 mètres au-dessus de ce dernier village), et les faire descendre jusqu'à la rencontre du bassin de l'Ill, pour les pousser ensuite en remontant 187 mètres, par le vallon de Hundsbach, au-dessus du plateau de Folgensberg, puis enfin pour les laisser descendre près de Heilingen jusqu'au pied des terrasses, au sommet desquelles ils devaient encore remonter avant de s'arrêter.

Avec un cours d'eau, il n'y a pas d'autre voie plus directe ou plus facile : le terrain est ainsi disposé. Et ce qui est plus extraordinaire encore, c'est que les deux courants auraient dû agir simultanément, et que le torrent vosgien serait même parvenu jusqu'au cœur du courant principal, en remontant vers l'amont sous angle d'environ 70° , et quand je dis *simultanément*, c'est qu'on en a la preuve certaine, le fait, non de la superposition, mais du *mélange* des cailloux des Alpes et des Vosges.

Pendant que les plateaux étaient ainsi submergés, les torrents diluviens devaient nécessairement se trouver en communication avec le Doubs, et ils

auraient certainement pu y exécuter quelques comblements. Les cailloux et le lehm débordent l'arête séparative de l'Ill et du Doubs, et s'élèvent à 105 mètres au-dessus du col, et cependant il ne semble pas que les galets alpins aient pénétré dans le bassin arrosé par cette dernière rivière : c'est une anomalie que je signale en passant, sans m'arrêter à en rechercher l'explication.

Le mélange des galets dans les buttes de Bâle est un fait qu'il est nécessaire de rapprocher de divers autres documents contradictoires, en apparence, mais qui cependant pourra, selon nous, recevoir une explication toute naturelle.

Ainsi, le long de la chaîne des Vosges, le comblement alpin est *recouvert* par une nappe parfaitement raccordée de galets de cette chaîne. A l'amont de Bâle (1), les dépôts de la vallée de la Byrse et des Alpes sont *juxtaposés* (Pl. 1, fig. 5). Celui de la Wiese provenant de la Forêt-Noire est supérieur, ou pour mieux dire, *dans un encâssement* ouvert dans le dépôt des Alpes (Pl. 1, fig. 6); et ces dispositions prouvent évidemment que ces accumulations ne se sont pas produites sous l'influence de courants qui auraient favorisé le mélange de matériaux de diverses provenances, amenés sur un même point simultanément, ou tout au moins un mélange moins complet, mais partiel, si les courants avaient opéré successivement, par les remaniements inévitables

(1) M. Daubrée. Mémoire cité.

qu'auraient subis les terrains meubles dans lesquels leurs lits se trouvent encaissés.

Dans les dispositions générales du terrain et dans tous ses détails, on ne saurait méconnaître la moraine profonde de l'ancien glacier du Rhin, terrain évidemment erratique et qu'un immense glacier et ses affluents seuls ont pu produire et régler aussi correctement. Les points où se termine la nappe de cailloux des Alpes marquent les limites extrêmes de la plus grande extension.

On conçoit l'existence d'une masse de glace suffisante pour occuper toute la vallée du Rhin, quand on examine sur une carte l'immense étendue de terrain compris dans ses bassins d'alimentation : ainsi, même après l'époque pendant laquelle les glaciers du Rhône franchissaient la Meyenwand, pour se déverser en partie dans le bassin de l'Aar, la mer de glace du Rhin était alimentée, savoir :

1° Par les glaciers du Rhin et leurs affluents, à partir du Saint-Gothard et des Grisons ;

2° Par les glaciers de la Byrse et du versant nord du Jura ;

3° Par les glaciers de l'Aar et de la chaîne de l'Oberland-Bernois, entre les Diablerets, la Jungfrau, le Finster-Aar, le mont Titlis, le Brunig, etc., etc. ;

4° Par les glaciers de la Reuss, des cantons de Lucerne, d'Unterwald, de Zug, de Schwitz et d'Uri ;

5° Par les glaciers de la Limmatt, de la Thur, des cantons de Saint-Gall, de Glaris et d'Appenzel : et enfin par tous les affluents de ces glaciers principaux

auxquels venaient se joindre ceux des Vosges, du Schwartzwald et d'une partie de la Souabe.

Pendant qu'une masse de glace aussi puissante occupait la vallée du Rhin, les affluents des deux chaînes latérales venaient se terminer contre ses rives élevées et ne pouvaient parvenir jusqu'à la moraine profonde, alors entièrement composée des matériaux entraînés des bassins supérieurs; relations qu'on observe dans les glaciers actuels, entre le glacier de l'Aar et ceux du Thierberg et du Silberberg, pour ne citer qu'un exemple, et ce n'est qu'à l'époque du retrait des anciens glaciers, la masse recouvrant le bassin diminuant progressivement, que les glaciers des Vosges et de la Forêt-Noire ont pu avancer davantage et étaler leurs moraines profondes sur la nappe partiellement découverte, et y ajouter une couche superficielle régulière et se raccordant par des plans inclinés à cette nappe principale : disposition entièrement différente de celle que les torrents auraient imprimée à ces remblais, qui seraient inévitablement disposés *en cônes de déjection*, s'ils avaient été transportés par les eaux.

A Bâle même on voit les indices d'un premier temps d'arrêt dans les hautes terrasses et dans les buttes de cailloux, à la formation desquelles le glacier du Ballon a évidemment contribué, et, à mesure qu'on remonte les vallées, on voit les dépôts de chacune d'elles s'appuyer contre le dépôt de la vallée principale, comme les moraines latérales

au pied des *Abschwung*, lorsqu'elles forment les moraines médianes. Mais dans ces dernières la séparation des diverses branches finit par disparaître, par suite des mouvements de progression et d'ablation qu'elles subissent en suivant la marche des glaciers, et de l'influence des agents atmosphériques favorisant incessamment des déplacements, des chutes; tandis que sous la pression de la masse glacée, toute déviation, tout mélange deviennent impossibles, ou du moins les mélanges ne peuvent se faire que latéralement et suivant les surfaces de juxtaposition.

Quant aux matériaux, et j'insiste sur ce point, ils sont évidemment erratiques : ils ont tous les caractères de galets façonnés par les glaciers : ils sont absolument semblables à ceux que l'on trouve dans les moraines anciennes non contestées, aussi bien que dans les moraines actuelles dans toute l'étendue des bassins supérieurs.

L'absence des moraines frontales et de blocs erratiques est un fait qui s'explique encore. Lorsque les glaciers avaient envahi la plus grande partie de nos chaînes de montagnes et des contrées voisines, ils enveloppaient les plus hautes sommités; ils n'avaient alors ni moraines médianes ni moraines latérales, et ne pouvaient créer des barrages marquant leurs stations ou disperser des blocs pour fixer les limites de leurs rives; ces témoins irrécusables de l'extension des glaciers nous manquent ici, mais la moraine profonde, sur une immense échelle, est une preuve suffisante et tout aussi incontestable.

Lorsque toutes les hautes vallées étaient recouvertes de glaces, au moment où le glacier se terminait au point où la ville de Bâle est située, le volume des eaux du Rhin était certainement beaucoup plus considérable qu'il ne l'est aujourd'hui, et ses limites sont marquées par les terrasses ouvertes dans la portion du comblement, comprise entre Bâle et Neuf-Brisach; au-delà de ce dernier point, l'inclinaison de la nappe se rapprochant de plus en plus de la pente maximum que le fleuve pouvait prendre, il a cessé d'encaisser son lit et il a pu exercer son action sur un terrain plus étendu et exécuter des remaniements, des attérissements que l'on considère comme des *alluvions modernes*.

Mais ces alluvions ne représentent pas des dépôts récents et entièrement nouveaux, comme les cônes de déjection répandus sur les terrains erratiques anciens et modernes.

On sait que les eaux du Rhin sont chargées d'une quantité assez considérable de détritrus, de boue glaciaire qu'il dépose sur les terrains submergés et sur les points où ses eaux peuvent séjourner ou couler très-lentement; et ces petits dépôts sont les seuls que l'on doive considérer comme des alluvions modernes. Quant aux attérissements de sables, de menus graviers ou de galets, ils proviennent en *totalité* des anciens dépôts.

En effet, depuis le commencement de l'époque actuelle, jusqu'aujourd'hui, le Rhin *n'a amené et n'a pu amener aucuns débris de rochers des Alpes dans la vallée au-dessous de Bâle.*

À sa sortie du lac de Constance, à l'exception d'une partie de la boue glaciaire, il n'est plus chargé d'aucune des matières plus lourdes qu'il entraîne dans ce vaste bassin : et tous les cours d'eau qui s'échappent de la région des glaciers actuels rencontrent également les lacs de Wallenstadt, de Zurich, de Zug, des Quatre-Cantons, de Brienz, de Thun, passages que les galets alpins ne sauraient évidemment franchir.

Les galets, les sables, en un mot tous les matériaux dont se composent les prétendues alluvions modernes, sont donc les débris incessamment remaniés du dépôt erratique situé à l'aval de ces lacs, et ne constituent pas une formation nouvelle ; et ces alluvions actuelles sont au dépôt erratique ce que les couches des dépôts stratifiés attaquées par le Rhin sont aux couches placées en dehors de ses atteintes.

Mais s'il n'existe pas de dépôts récents et en voie continuelle de formation, qui donnent une idée en petit de ce que le Rhin, à une autre époque et avec une masse d'eau plus considérable, paraissait avoir exécuté plus en grand, comment pourrait-on encore lui attribuer la création d'un comblement général qu'un cours d'eau, et quelle que fût sa puissance, ne produirait pas plus en franchissant les lacs qu'en remontant sur les plateaux situés entre l'Ill et le Rhin ?

Le cours d'eau actuel, pas plus que le courant diluvien, n'est donc pas la cause à laquelle la création du comblement du bassin du Rhin puisse

raisonnablement être rapportée; ce que l'on observe ici n'a aucune analogie avec les faits que révèle l'observation du régime des eaux, tandis que l'on trouve à chaque pas l'identité la plus frappante, la plus complète, avec les résultats réels et parfaitement appréciables de l'action des glaciers actuels, dernières ramifications de l'ancienne mer de glace du Rhin:

Le lehm est la boue de l'ancien glacier du Rhin, ainsi que M. Édouard Collomb l'a établi dans un mémoire inséré au *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e série, t. VI, p. 497, séance du 7 mai 1849. De mon côté, j'avais émis la même opinion à l'égard de ces dépôts, dans mon *Mémoire sur le terrain erratique des Vosges*, antérieurement à la date du 27 septembre 1848, et, sur ce point, il paraît à peu près probable qu'on sera d'accord, puisque l'accumulation du lehm ne peut être attribuée qu'à l'action des eaux.

Il reste, toutefois, à rechercher dans quelles conditions elle a pu avoir lieu.

Le lehm recouvrant les sables et les galets est, par conséquent, la couche la moins ancienne du dépôt erratique: il existe en divers lambeaux aux pieds des deux chaînes et recouvre les plateaux de Francken à Mulhouse, à 100 mètres au-dessus du niveau de la nappe, et constitue, sur la rive droite, des collines ou mamelons isolés qui atteignent quelquefois près de 100 mètres de puissance.

Le lehm est un sédiment dont le dépôt n'a pu

avoir lieu que dans les eaux parfaitement calmes, il ne s'accumule dans aucun des cours d'eau qui en sont chargés aujourd'hui, et rien dans le régime des rivières ne permet de supposer qu'il a été charrié dans la plaine du Rhin, où il aurait non-seulement recouvert les premiers attérissements, mais encore produit un exhaussement tout à fait anormal dans le lit du Rhin et de ses affluents.

En le retrouvant à diverses hauteurs au-dessus du lit actuel du Rhin, on serait naturellement ramené à supposer, de nouveau, une inondation générale de toute la contrée, et à rétablir un grand lac occupant tout le bassin, quoique l'on n'aperçoive nulle part des traces du barrage nécessaire pour retenir les eaux et les faire refluer jusqu'aux sommités des prééminences du Kaiserstuhl et des environs de Mulhouse; car, si cette inondation paraissait impossible, il faudrait revenir à l'idée non moins inadmissible d'un courant passant à la cote 455 et ayant une vitesse tellement considérable, que le lehm eût été entraîné au loin avec la plus grande masse du dépôt de comblement.

Si l'on jette les yeux sur une carte géologique de la vallée du Rhin, on remarque tout d'abord l'absence du lehm, dans toute l'étendue de la partie centrale du bassin, où, cependant, on devrait le retrouver, au moins sur quelques points isolés, surtout si la surface de la plaine se trouvait entièrement dressée et dégagée, au moment où le dépôt de sédiment a eu lieu.

On ne trouve aucune indication à cet égard : tout ce qu'on nous apprend, c'est que le lehm a été entraîné par les courants sortant des anciens glaciers, mais il n'est fait aucune mention du volume des eaux, de leur régime, de l'étendue du dépôt et de l'enlèvement de sa masse principale, les surfaces de terrain qu'il recouvre actuellement ne comprenant qu'une très-minime fraction de la surface totale du comblement.

Le lehm, formant de petits dépôts isolés, morcelés ultérieurement par les divers cours d'eau qui les traversent, s'est placé *dans des lacs, dans des bassins séparés*, diversement étagés et alimentés par les eaux des glaciers, pendant que le surplus du comblement était encore recouvert par les glaces : dans les environs de Mulhouse, par exemple, le terrain occupé par les glaciers est indiqué par la nappe de galets de la Harth, les plateaux recouverts de cailloux des Vosges à Bâle, par le Folgensberg et par la plaine stérile de l'Ochsenfeld.

Si le lehm avait occupé toute la plaine, et sur une épaisseur de 60 à 100 mètres, aussi bien que les points où il existe, on verrait infailliblement les traces du courant qui l'aurait balayé, en ouvrant des canaux, des fouilles d'autant plus profondes à la surface de la nappe que sa force eût été plus considérable et proportionnée à la hauteur de la lame d'eau; ce courant aurait dû, au moins, atteindre une partie du dépôt et une élévation de plus de 80 mètres au-dessus du niveau actuel du fleuve à

Kembs. Mais on chercherait inutilement le moindre indice de l'agent d'une aussi immense destruction.

Le grand glacier en se retirant laissait ce terrain à découvert et aux courants toute liberté d'action, et s'ils n'ont pas bouleversé la plaine de la Harth, dans laquelle on remarque des sillons formés par les faibles cours d'eau sortant du front du glacier par exemple, c'est qu'ils n'étaient pas assez puissants pour l'atteindre et franchir les limites de leur plus grande extension, limites sur l'emplacement desquelles les terrasses de Bâle à Neuf-Brisach ne laissent aucun doute; et l'absence du lehm sur la partie centrale de la nappe prouve en outre qu'après la disparition de la mer de glace, les eaux du Rhin chargées de détritns glaciaires n'y sont parvenues à aucune époque.

Une coupe des divers dépôts superposés à Mulhouse par exemple (*Pl. 1, fig. 4*) offre trois étages distincts, savoir : le comblement alpin, sous un comblement de galets vosgiens; et enfin le lehm recouvrant ce dernier. J'ai cherché à expliquer le fait de la superposition des deux couches de galets, en insistant sur leur nivellement régulier, pour faire voir que le transport des matériaux dont elles se composent ne saurait être attribué à l'action de courants agissant alternativement ou simultanément : des nappes également bien dressées occupent le fond des hautes vallées des Vosges et supportent les moraines frontales de Wesserling, d'Orbé et de Grüth dans le bassin de la Thur, et il n'existe

aucune séparation entre ces deux sortes de moraines formées *simultanément*, ainsi que je l'ai dit ailleurs.

Si l'on considère le lehm comme un dépôt appartenant à l'époque de la plus grande extension des glaciers des Alpes et correspondant chronologiquement aux premières moraines frontales des vallées vosgiennes, les comblements inférieurs de ces dernières, aussi bien que la nappe du bassin du Rhin constitueraient un dépôt de transport plus ancien, *un diluvium* qui aurait précédé l'apparition des anciens glaciers : et dans cette hypothèse on n'expliquerait nullement le fait de la *constante séparation* des nappes et de leur superposition à partir des bords du bassin, et encore moins la présence de la boue glaciaire dans toutes les parties d'un comblement qui aurait précédé l'époque des glaciers.

Un diluvium plus ancien que les anciens glaciers serait un fait aussi nouveau qu'inexpliquable : les Alpes, les Vosges et la Forêt-Noire, entièrement dépourvues de glaciers, sillonnées par des courants d'une puissance extraordinaire sortis de sources inconnues n'ont conservé et n'offrent aucune trace de ces cataclysmes, tandis qu'à chaque pas on rencontre des preuves de l'existence d'anciens glaciers. Les nappes inférieures offrent d'ailleurs, à l'origine même des vallées aussi bien qu'à de grandes distances, non-seulement, de la boue glaciaire mais encore des galets arrondis, polis ou striés, et ayant toutes les formes que la glace seule peut imprimer aux matériaux soumis à son action.

Les cours d'eau n'ont pu agir dans ces contrées qu'au moment où les chaînes se sont dépouillées en partie de leur manteau de neige ou de glace, et où leurs flancs entièrement nus se sont trouvés exposés pendant des siècles aux dégradations des agents atmosphériques. C'est alors que se sont creusées la plupart des excavations, et que les matériaux entraînés ont formé les anciens lits de déjection, et en général les *alluvions postérieures* aux blocs erratiques, et cependant antérieures aux temps historiques, qui remplissent le fond des vallées (1). Et postérieurement au dépôt des moraines de Wesserling et de Bâle, des courants diluviens auraient culbuté et détruit ces barrages conservés presque intacts jusqu'aujourd'hui.

Avant l'époque glaciaire, le diluvium du Rhin était impossible, les lacs présentant des passages que les courants chargés de matériaux ne pouvaient franchir : après que les glaciers s'étaient retirés dans les contrées où ils sont confinés aujourd'hui, les mêmes obstacles se présentaient encore, et pendant que le glacier du Rhin se terminait dans les environs de Schaffhouse comme on l'avait supposé d'abord d'après l'examen des blocs erratiques, il ne pouvait fournir une masse d'eau suffisante pour recouvrir la plaine du Rhin d'un courant de plus de 200 mètres d'élévation. Le transport des nappes

(1) M. Scipion-Gras. *Considérations sur les anciens lits de déjection des torrents des Alpes*, Grenoble, 1848.

profondes ne saurait donc s'expliquer dans l'hypothèse diluvienne : les glaciers en franchissant les lacs ont seuls pu les former, et l'importance des anciens courants est indiquée, très-approximativement, par les anciennes terrasses ou coupures pratiquées dans ces comblements par les torrents qu'alimentaient ces immenses accumulations de glaces.

Le lehm du bassin du Rhin provient de ces anciens glaciers et non des glaciers actuels, puisqu'il est situé hors de la portée des eaux qui coulent aujourd'hui dans un lit ouvert dans la nappe de comblement, à un niveau bien inférieur à celui qu'il atteint. Mais son dépôt a précédé de beaucoup l'époque pendant laquelle les premières moraines frontales de la vallée de la Thur, et les buttes des cailloux de Bâle, par exemple, se sont formées. Celles-ci appartiennent à la période de *décroissement* du glacier principal et de ses affluents qui, en se retirant, ont cessé de former la ceinture qui enveloppait le massif de collines de Mulhouse et de retenir les eaux dans le bassin où il s'accumulait et dont l'emplacement est marqué par le dépôt de lehm couronnant ces prééminences. A ce moment déjà la partie inférieure de la vallée était découverte, et il y a lieu de penser que les amas de lehm sont d'autant moins anciens qu'ils se rapprochent de l'amont, et que ceux des environs du lac de Constance, les derniers qu'on retrouve dans le bassin du Rhin, sont aussi les derniers qui se soient produits.

Si nous examinons attentivement les dispositions du sol, les relations de divers dépôts, leurs formes extérieures, leur distribution, la nature et les matériaux caractéristiques qu'ils renferment, le régime des eaux et des glaciers, en un mot, si nous notons avec soin les causes et les effets qu'elles produisent réellement, nous arriverons sûrement à des conclusions entièrement opposées à celles que l'on a formulées jusqu'ici à l'égard du comblement dont il s'agit, et nous finirons par reconnaître que le Rhin exerce incessamment une action de destruction, moins grande aujourd'hui qu'à l'époque où il recevait une alimentation beaucoup plus considérable; qu'il n'entraîne actuellement *aucuns débris des Alpes* dans le bassin inférieur, séparé des hautes régions par des lacs profonds; enfin qu'à aucune époque il n'a pu avoir une masse d'eau suffisante pour atteindre les sommités entre Bâle, Valdieu et Mulhouse.

La présence du terrain erratique vosgien à Bâle et sur les sommités du Folgensberg démontre que les glaciers des Vosges, pas plus que ceux de la Suisse, ne sont restés enfermés dans les hautes vallées des montagnes. La moraine frontale de Wesserling, considérée comme la limite de la plus grande extension des glaciers de la vallée de la Thur, est débordée cependant par une moraine latérale parfaitement caractérisée et qui existe, sur la rive gauche, entre Saint-Amarin et Mosch. La nappe profonde se prolonge sans interruption jusqu'au

comblement de l'Ochsenfeld (*Pl. 2, fig. 6 et 7*), et quels que soient les étranglements de la vallée (*Fig. 8, 9 et 10, pl. 2*). La vitesse d'un courant aurait inévitablement varié dans ces divers passages, ayant 300 mètres, 1,600 à 4,500 mètres de largeur; et les déjections, loin de former une nappe bien réglée, auraient pris les dispositions de la *fig. 11, pl. 2*, si différentes de celles que nous offre le terrain.

Dans la vallée de la Thur, des terrasses indiquent comme dans le comblement du Rhin les limites de l'ancien cours d'eau sortant du glacier. Entre ces terrasses parallèles *supérieurement* le terrain accidenté conserve les traces évidentes de l'action des eaux. Mais nulle part on ne rencontre ces dispositions indiquées dans les écrits et dans les figures destinées à expliquer les retraites successives des rivières.

Nulle part on ne voit un terrain de comblement disposé comme dans la *fig. 5, pl. 2*, en *terrasses parallèles et étagées* marquant des retraites successives et des *sections régulières*, comme on l'a dit et figuré. A cette coupe théorique et imaginaire, il faut substituer les figures 1, 2 et 3 de la même planche, puisqu'elles font connaître, non ce que l'on suppose, non ce qu'il faudrait pour étayer la théorie diluvienne, mais bien *ce qui existe* et le travail réel des cours d'eau, en un mot ce qu'il faut considérer quand on veut étudier les faits et en déduire des conséquences rigoureuses.

Le parallélisme des terrasses supérieures, les

dispositions de leurs matériaux prouvent qu'elles font partie d'un seul et même dépôt, et non de déjections successives, partielles; l'irrégularité des terrains compris entre ces terrasses, révèle l'action des eaux à l'époque des plus grandes crues: sur tous les points qu'elles ont touchés l'harmonie du comblement a été troublée et détruite, et l'on observe un contraste frappant entre ces dispositions et celles des hautes terrasses; une seule et unique cause aurait-elle produit des effets aussi différents?

Le parfait état de conservation des moraines frontales des Vosges et de la Forêt-Noire, ainsi que des buttes de Bâle, démontre clairement que les montagnes pas plus que les vallées n'ont été sillonnées ou parcourues par des courants diluviens, lorsque les anciens glaciers se sont retirés; et le lehm ou la boue glaciaire se *retrouvant* dans toutes les parties de la nappe comme *élément constitutif* indiquant un dépôt glaciaire, ce serait à tort que l'on conserverait au comblement du Rhin la qualification de *diluvium*, et surtout de *diluvium alpin antérieur* à l'époque d'extension des glaciers, époque à laquelle il appartient incontestablement et qu'il n'a ni précédée ni suivie.

Enfin, si le bassin du Rhin, au-dessous de Bâle, a pu être fermé sur un point quelconque, entre Bingen et Braubach, et être occupé par un immense lac, ce n'est assurément ni à l'époque de la formation du dépôt de comblement, ni postérieurement.

La nappe de comblement, à la vérité, est

interrompue à l'entrée du défilé de Bingen, et elle disparaît dans tous les passages resserrés entre les escarpements bordant le Rhin et s'élevant contre ses rives ; mais chaque fois que les montagnes s'écartent et laissent entr'elles un espace plus que suffisant pour le lit du fleuve, le comblement, réglé comme à l'amont, reparait soit sur l'une des rives, soit sur les deux à la fois.

Ainsi à Salzig, à Bornhofen, à Braubach, dans la vallée et sur les deux rives du Rhin, on voit un comblement régulier, composé de sables et de galets et recouvert de lehm : et chaque fois que les pentes des escarpements deviennent moins abruptes, à l'aval de Braubach, par exemple, elles sont recouvertes de sables, de galets et de lehm formant le prolongement du comblement supérieur et s'y rattachant incontestablement.

Ces dépôts, qui se continuent successivement jusqu'à la hauteur de Coblenz, où la nappe de comblement du Rhin réunie à celle de la Moselle se développe de nouveau, prouvent qu'il n'y a pas eu interruption entre les dépôts de l'amont et de l'aval du défilé du Rhin, et que ces dépôts ne se sont pas formés dans deux bassins étagés et séparés par un ou plusieurs barrages qui, plus tard, auraient été détruits.

Quelques attérissements, quelques îlots de sables et de galets et recouverts de détritiques, dans le lit même du fleuve, rattachent en outre ces dépôts dont l'extension, plus ou moins grande, a dû

nécessairement varier en raison des dispositions du terrain ; et les dépôts de détritns, sur les flancs des montagnes, à une hauteur considérable au-dessus du niveau des plus hautes eaux du Rhin, ne pouvant être attribués à l'action d'un courant qui, à cette hauteur, aurait acquis une excessive vitesse et aurait entraîné ces mêmes matériaux de transport constituant le sol cultivé, on est amené tout naturellement à admettre que la présence de ces matériaux, sur des pentes assez inclinées, est une preuve positive de l'ouverture du défilé, et négative d'inondations soit à l'époque des comblements du Rhin, soit postérieurement : en effet, les dépôts qui existent sur divers points du défilé n'auraient pu s'y établir ni avant qu'il ne fût ouvert, ni au moment de la rupture du barrage d'un lac supposé, et avec un écoulement subit et trop violent pour permettre à de menus matériaux de s'arrêter sur les flancs des montagnes ou dans le fond du bassin.

Épinal, le 31 Mars 1850.

II.

QUELQUES MOTS SUR LE DILUVIUM INDIQUÉ A LA BASE DES DÉPOTS ERRATIQUES.

Mon mémoire sur le terrain erratique du bassin du Rhin (1), communiqué à la Société géologique de France, dans sa séance du 16 décembre 1850, a donné lieu à quelques observations critiques dont je n'ai pas reçu communication, mais dont il n'est peut-être pas impossible de deviner le sens, en lisant la lettre de M. E. Collomb à M. Desor, et en jetant les yeux sur les coupes jointes à cette lettre : aussi, en attendant que le moment de discuter à fond les objections concernant plus particulièrement mon travail soit venu, je crois devoir présenter, dès

(1) *Observations sur le terrain erratique du bassin du Rhin, entre Bâle et Coblençe, 1850.*

aujourd'hui, quelques réflexions sur les conclusions auxquelles mon confrère paraît s'être arrêté.

D'après la manière de voir de M. Collomb, l'instant de l'apparition des anciens glaciers dans nos contrées se trouverait fixé à une époque géologique *très-récente*, après tous les phénomènes qui ont donné lieu aux grands transports des matériaux dont se composent les comblements des vallées.

Les glaciers ne se seraient pas étendus dans la plaine du Rhin.

Les dépôts de comblement de cette plaine seraient divisés en plusieurs assises d'âge et de propriétés bien distincts, savoir :

N° 1. L'inférieure, de cailloux et de graviers d'origine exclusivement alpine ;

N° 2. La moyenne, composée aussi de cailloux et de graviers exclusivement vosgiens ;

N° 3. La supérieure de loëss ou lehm d'origine alpine.

Le comblement ou système inférieur, n'ayant aucun rapport avec les moraines profondes, aurait tous les caractères d'une formation torrentielle.

Quelle est la raison de cette séparation ? Je ne l'ai ni trouvée ni comprise : le phénomène qui a donné lieu au transport des matériaux de l'assise inférieure du comblement avait son origine dans les Alpes ; je suis d'accord, sur ce point, avec M. Collomb : mais que ce transport ait été purement fluvial, et qu'il ait eu une très-grande puissance, je ne saurais l'admettre sans autre explication.

Ce comblement inférieur est *exclusivement* alpin,

il ne renferme pas le moindre débris provenant soit des Vosges, soit de la Forêt-Noire; au moment où il se formait, le Rhin seul aurait donc coulé dans le bassin, et de ces deux chaînes latérales de montagnes aucun cours d'eau ne serait sorti pendant une période fort longue, à en juger par la puissance et l'étendue du comblement.

Puis, lors de la formation de l'assise moyenne, le phénomène alpin aurait perdu de son énergie; les moyens de transports lointains auraient cessé, pour ainsi dire, de se manifester; ils se seraient localisés et les débris recouvrant la plaine d'Alsace, n'appartenant plus aux Alpes, seraient descendus exclusivement des Vosges et de la Forêt-Noire latéralement, et du Jura à l'amont.

Cette explication de la séparation des deux dépôts superposés, est aussi simple qu'ingénieuse, mais cette succession imaginaire de forces motrices exclusivement fluviales, agissant d'abord longitudinalement, puis transversalement dans le bassin, n'a pas encore été démontrée.

J'ai cherché à prouver au contraire que le comblement dont il s'agit était d'origine erratique, et que le transport des matériaux dont il se compose avait été opéré par des glaciers et non par des cours d'eau. Il est inutile de reproduire ici les considérations que j'ai présentées dans mes mémoires sur les formations erratiques du Rhin (1), et je me

(1) *Mémoire sur le terrain erratique de la vallée du Rhin, entre Bâle et Coblenze et de la vallée du Rhin postérieur, 1850.*

bornerai à opposer quelques *faits* à l'opinion de M. E. Collomb.

Les galets du comblement, selon lui, sont tous *roulés*; il conviendrait d'abord de savoir ce qu'on entend par un galet roulé, de déterminer ses caractères essentiels et de faire connaître comment on pourra distinguer un caillou arrondi et poli du dépôt de la plaine d'Alsace, d'un caillou arrondi et poli, recueilli sous l'un des glaciers en activité, aux sources du Rhin et de l'Aar. Pour moi cette distinction est impossible.

Les galets du comblement du Rhin offrent toutes les formes qu'affectent les galets glaciaires constituant les moraines profondes actuelles : ils sont mélangés, comme dans ces moraines, à des débris à angles à peine émoussés, à surfaces imparfaitement polies; et leur identité est aussi complète, incontestable que celle des diverses nappes erratiques des diverses sections du bassin inférieur et des hautes vallées, dans lesquelles l'œil le plus exercé ne parviendra jamais à trouver des différences indiquant et prouvant des origines différentes.

L'arrangement des matériaux est le même sous les glaciers et dans la plaine d'Alsace; les galets ne sont ni stratifiés ni imbriqués; ils sont distribués sans ordre et comme noyés dans la masse des sables et des menus graviers. Nulle part, on n'aperçoit ces couches successives de cailloux rangés à la manière des tuiles d'un toit, marquant les accroissements des bancs, si bien décrits par M. Daubrée.

Ces matériaux ne sont pas lavés, mais ils sont

enveloppés d'un limon jaunâtre de lehm, de cette boue du glacier qui s'est produite *pendant toute la période du comblement*, comme pour en marquer l'époque, et s'est accumulée ensuite sur différents points à sa surface, et qu'aujourd'hui les cours d'eau sortant des glaciers continuent à charrier; en un mot, le comblement de la plaine d'Alsace, *moraine profonde ancienne*, est aux moraines profondes actuelles ce que la moraine frontale d'Obergesteln est aux moraines frontales actuelles du glacier du Rhône.

Ces divers dépôts offrant les mêmes caractères et se trouvant dans les mêmes conditions, n'était-il pas naturel de les rapprocher, de les réunir dans un même groupe? et surtout de les séparer des accumulations alluviennes dont ils n'offrent ni les dispositions, ni les caractères essentiels.

Le Rhin, dans les déplacements, dans les remaniements incessants des matériaux encombrant son lit, et tous les cours d'eau, agissant sous nos yeux, ont-ils jamais exécuté une nappe de comblement, même sur une petite échelle, comparable aux dépôts réguliers qui remplissent le fond des vallées? Les observations de M. Daubrée sur les caractères des îles ou bancs de sables et de graviers créés par le Rhin permettront-elles encore de le supposer?

Ces galets roulés du comblement du Rhin, dont la présence a pu donner un moment l'idée d'un transport exécuté par un courant, diffèrent-ils de ceux qui sont jetés sur les flancs des montagnes,

sur des plateaux élevés ou qui constituent même les moraines frontales de nos vallées ? Non, assurément, et si les eaux seules avaient la propriété de les façonner ainsi, il faudrait attribuer à leur action ces diverses accumulations, ou reconnaître que les cailloux arrondis et polis appartenant à des dépôts erratiques incontestables, leur présence ne peut plus désormais suffire pour prouver l'action exclusive des courants dans la formation des terrains dont il s'agit.

Le Rhin sans doute, use, corrode et polit les matériaux qu'il déplace et *roule* dans son lit, mais il les a trouvés sur place tout transportés et tout façonnés ; il n'entraîne aujourd'hui aucun débris des Hautes-Alpes ; jusque dans le bassin inférieur, les lacs qu'il traverse, ainsi que ses divers affluents, offrant des obstacles infranchissables.

Si l'on suppose, pour un moment, ces cavités fermées, ou non encore creusées, et l'action diluvienne alpine agissant en toute liberté pour combler la plaine d'Alsace ; on doit admettre aux confluent de toutes les vallées latérales un mélange des matières transportées aussi bien que des eaux : et ce mélange pourtant n'existe nulle part.

Il fallait bien reconnaître la séparation et la superposition des comblements alpins et vosgiens, puisqu'elles sont visibles, incontestables et nettement tranchées ; et ces relations qui s'expliquent naturellement dans le système erratique, ne se présenteraient pas dans des dépôts formés par des cours

d'eau à une époque d'inondation générale; aussi pour en rendre compte, M. E. Collomb admet-il que le Rhin, pendant une période fort longue, a dû opérer *seul et sans auxiliaires*, et que les torrents des Vosges et de la Forêt-Noire sont venus ensuite jeter sur le comblement alpin leurs alluvions, renfermant des matériaux *non moins volumineux* que ceux de la base du dépôt.

Ces torrents étaient donc doués d'une grande énergie, puisqu'en sortant de gorges étroites et fortement inclinées, ils devaient conserver la force nécessaire pour étaler au loin, dans la plaine d'Alsace, les matériaux provenant des flancs et *des sommités mêmes des montagnes*.

Les torrents des Alpes élèvent journellement leurs cônes de déjection sur les moraines profondes; aux points où ils débouchent dans les vallées, on voit le dépôt alluvien superposé au dépôt erratique, mais dans des conditions que l'on ne rencontre plus dans le bassin du Rhin, entre Bâle et Mayence.

Les surfaces unies et régulièrement dressées des moraines profondes sont recouvertes d'accumulations formant des bourrelets coniques, des *deltas inclinés*, et non de nouvelles nappes stratifiées parallèlement aux plans inclinés qui les supportent. Les coupes longitudinales et transversales font voir ces renflements successifs dont j'ai donné plusieurs exemples dans les croquis joints à mon mémoire sur la vallée du Rhin postérieur; dans ces cir

constances, la confusion n'est pas possible, les dépôts alluviens et erratiques sont parfaitement distincts.

En suivant chacune des chaînes des Vosges et de la Forêt-Noire, on rencontre une tout autre disposition, et la régularité de la nappe n'est interrompue nulle part, soit transversalement, soit longitudinalement, non-seulement à la rencontre des vallées dans lesquelles cette nappe se prolonge, mais encore d'une vallée à l'autre aux pieds des proéminences qui les séparent, bordent le bassin, et se relevent brusquement au-dessus de la surface unie du comblement qui dessine à leurs bases une ligne parfaitement tranchée et paraissant de niveau.

Mais la superposition en deux nappes dressées et parallèles des dépôts des Alpes, des Vosges et de la Forêt-Noire, qu'il s'agissait d'expliquer en faisant intervenir successivement un courant principal suivant la ligne de plus grande pente de la vallée, puis des torrents sortant latéralement de ces deux chaînes, n'est pas le seul fait à considérer dans le comblement du bassin du Rhin. On ne doit pas oublier certaines dispositions que l'hypothèse de M. E. Collomb ne saurait faire comprendre, et que je dois pourtant rappeler en passant.

A la rencontre de deux vallées principales, le comblement n'offre pas un mélange confus de matériaux provenant de l'une et de l'autre, comme cela serait dans les alluvions aux confluent des cours d'eau. Il se compose de deux nappes distinctes

appuyées l'une contre l'autre, justa-posées, et se prolongeant séparément en se raccordant sans inflexions à un même plan incliné; ailleurs, et quand le comblement latéral provient d'une vallée secondaire peu étendue, il y a encaissement et superposition, mais toujours séparation et absence complète de remaniements. L'explication que j'ai donnée de ces faits, je l'ai trouvée en quelque sorte écrite sur le sol en étudiant le régime des glaciers, et je l'aurais inutilement cherchée en observant le cours des torrents et des rivières, agissant suivant des lois souvent mal interprétées et comprises, mais dont les plus savantes hypothèses ne sauraient entraver le cours.

Le comblement diluvien de M. E. Collomb *pénètre* dans les hautes vallées; il serait préférable de dire qu'il *sort* des bassins de réception et se prolonge dans la plaine du Rhin. Toutefois il offre les mêmes caractères dans les cirques élevés, dans toute l'étendue des vallées et dans la grande nappe; *les cailloux roulés, arrondis et polis se retrouvent partout indistinctement, aux pieds mêmes des rochers qui en ont fourni les éléments, à quelques mètres des sources des cours d'eau, aussi bien qu'aux points extrêmes des comblements*; et c'est une observation que j'ai faite et consignée depuis longtemps, mais à laquelle on n'a pas encore répondu.

Cependant la présence de ces galets dans les comblements des hautes vallées indique beaucoup plus sûrement l'intervention de la glace que celle de l'eau; aussi MM. Ch. Martins et Gastaldi ont-ils

commencé à admettre, dans les limites des anciens glaciers et jusqu'aux moraines frontales conservées, des moraines profondes recouvrant un diluvium plus ancien, et c'est un premier pas vers la réforme complète des alluvions anciennes, antérieures à l'époque glaciaire.

Sur ce point ils sont partiellement d'accord avec moi, mais entièrement en opposition avec le système de M. E. Collomb.

Ce dernier n'admet pas à la surface d'un diluvium anté-erratique de moraines profondes dans les Vosges, et selon lui les moraines frontales reposent, sans intermédiaire, sur le comblement fluvial; pour conserver quelques chances en faveur de son système, il devait nécessairement procéder ainsi; car admettant une nappe erratique d'une épaisseur aussi faible que possible sur les dépôts de comblement, et seulement même jusqu'à la moraine frontale de Wesserling, assurément c'en était fait du diluvium.

En effet, il n'y a pas de terme moyen, et les nappes dont il est question sont ou des moraines profondes ou des alluvions.

J'ai surabondamment expliqué pourquoi je ne pouvais y reconnaître des dépôts formés par des courants, et déjà, en 1848, j'ai émis cette opinion, dans laquelle tout ce que j'ai observé depuis me porte à persister formellement, que le *transport des matériaux* composant ces nappes *avait été effectué par des glaciers*.

Mais, entre M. E. Collomb et moi, sont venus

se placer MM. Ch. Martins et Gastaldi, qui ne partageant aujourd'hui que partiellement mes idées et les siennes, me semblent cependant donner entièrement raison à mes conclusions.

En effet ils admettent, avec moi, dans les vallées de la Suisse, des moraines profondes jusqu'aux moraines frontales les plus avancées. Ce point établi et constaté, que deviendront les comblements inférieurs dans les contrées qu'ils considèrent comme l'ancien domaine des glaciers, et ceux qui forment les prolongements de ces mêmes dépôts jusqu'aux limites beaucoup plus reculées que j'ai cru devoir admettre et indiquer?

Évidemment des moraines profondes!

Si M. E. Collomb n'a pas vu de séparation naturelle, visible ou présumable dans le prétendu diluvium, c'est que cette séparation n'existe pas; s'il y avait eu deux étages distincts et ayant des caractères tranchés, il n'aurait pas manqué de les remarquer et de les indiquer; si la nappe superficielle, entre la chaîne du Mont-Blanc et Turin, est une moraine profonde, tout le comblement fait partie d'un seul et même dépôt, et c'est en vain qu'on y chercherait des limites séparatives; la couche supérieure, la surface étant incontestablement erratique, la masse entière à laquelle elle se lie intimement est évidemment erratique.

Et s'il en est ainsi, le prolongement au delà de la moraine frontale de Turin ayant les mêmes allures, les mêmes caractères, la même composition, les mêmes formes, la même régularité, est encore la

nappe ou moraine profonde, et sa limite marquera le terme de la plus grande extension glaciaire.

Enfin dans le bassin du Rhin, dans la Forêt-Noire et dans les Vosges, le comblement rentrera dans le même ordre des dépôts; et attendu qu'il n'a d'analogues que dans la région des glaciers anciens et actuels, qu'il n'offre aucun des caractères des formations dues à l'action des cours d'eau, qu'on ne peut établir aucune différence entre la moraine profonde actuelle et les diverses parties de ce comblement, il n'est plus possible aujourd'hui de leur appliquer la qualification *de diluvium*.

On pourrait encore supposer, surtout si l'on ne voulait tenir aucun compte des formes et de l'arrangement des galets, que la régularité de la surface des nappes des hautes vallées est due à l'action glaciaire, et que cette action s'est produite en second lieu, quand déjà les bassins avaient été comblés par des torrents. Il faudrait alors admettre que toutes les *parties nivelées* de ces nappes ont été soumises à la même cause, et finalement reconnaître l'extension des glaciers jusqu'aux extrémités de ces nappes aussi correctement dressées, entre Bâle et Mayence, que dans les cirques des hautes vallées : le diluvium deviendrait alors une conception inutile, surabondante, à laquelle on n'a renoncé que partiellement jusqu'ici, parce qu'on a voulu arbitrairement fixer les limites des anciennes régions des glaces, avant d'avoir pris la peine de les rechercher et de les étudier convenablement.

Mais les faits géologiques ne sauraient se res-

treindre suivant notre volonté : les glaciers ont imprimé sur le sol des traces irrécusables de leur passage et de leur séjour, et cependant quand tous les géologues n'admettent pas encore les roches polies et striées, preuve que l'on peut voir, toucher et comprendre sans peine, est-il donc surprenant que le diluvium conserve encore de fervents partisans? Les accumulations erratiques offrent des caractères saillants qu'on ne pourra toujours nier, et l'on aura beau faire, on ne parviendra pas plus à démontrer que le comblement de la vallée du Rhin soit un dépôt fluviatile qu'à rendre compte du transport des blocs alpins dispersés sur le Jura, par des courants boueux.

L'assise n° 3 ou supérieure du terrain de comblement de la vallée du Rhin, dont M. E. Collomb fait un dépôt distinct, plus récent et contemporain des moraines vosgiennes, est composée de loess ou lehm, limon argileux, parfois chargé de particules très-fines de mica; sur quelques points, le sable quartzeux très-fin y devient prédominant, etc.; *le phénomène*, qui avait donné lieu à la formation de l'assise supérieure du comblement, composée de matériaux distribués de telle sorte qu'on ne pourrait guère, selon lui, en rapporter le mode de *transport qu'à des courants violents*, ayant perdu de son énergie, aurait été remplacé immédiatement par un autre phénomène prenant de rechef son centre d'activité dans les Alpes. Et le Rhin prédominant de nouveau, par sa force locomotive, sur ces

affluents latéraux, aurait inondé alors la plaine de la masse de ses eaux boueuses (mais cependant, *malgré cette force de locomotion, il ne charriait plus de graviers ni de galets*), et le lehm se serait déposé et consolidé *dans tout* l'espace compris entre les Vosges et la Forêt-Noire.

Ainsi le lehm et les moraines (frontales) étant superposés à tous les dépôts *antérieurs*, seraient les représentants du dernier terme de la série.

Le lehm est évidemment la boue des anciens glaciers, je l'ai dit, ainsi que M. Collomb; mais je n'ai pas eu un seul instant la pensée de le considérer comme un dépôt distinct et séparé de la masse du terrain erratique.

Lorsqu'il recouvre une nappe de galets, son dépôt évidemment a eu lieu postérieurement, mais cette relation, cette superposition ne prouvent nullement que le *lehm* n'a *commencé* à se produire qu'en second lieu et à une époque plus récente.

Le lehm dont nous voyons des amas isolés à la surface du comblement et sur les sommités des diverses proéminences, est *mêlé visiblement et incontestablement aux matériaux dont se compose ce comblement*. La boue qui enveloppe les galets des moraines frontales de la vallée de Wesserling, enveloppe également les galets, les sables et graviers de la plaine du Rhin, *dans la masse entière du dépôt*.

Le lehm qui continue à se produire comme toutes les autres parties du terrain erratique, ne forme

cependant pas de couches dans les nappes profondes ; la boue glaciaire se mêle aux matériaux de ces nappes ; mais pour que cette boue s'accumule et donne lieu à des dépôts d'un limon argileux , il faut qu'elle soit lavée , que ses parties les plus tenues soient transportées par les eaux jusque dans des bassins où le sédiment puisse se déposer lentement , et on le comprend , il faut en même temps que les eaux soient calmes ; la moindre agitation retarderait ou empêcherait même les éléments du lehm tenus en suspension , de se séparer et de se précipiter.

Le lehm ne se dépose dans aucune des rivières des Alpes ; on voit seulement quelques couches boueuses sur leurs rives quand les eaux ont été momentanément retenues , tandis qu'il s'accumule journellement au fond du lac de Genève , dans lequel le Rhône vient jeter ses eaux boueuses qui , après un assez long trajet , en sortent pures et limpides ; dans les lacs moins étendus , il ne se dépose que partiellement.

Le Rhin dont la vitesse est moins grande que celle d'un fleuve inondant toute la plaine , entre les Vosges et la Forêt-Noire , ne forme plus de nouveaux dépôts de lehm , quoiqu'il soit chargé de boue , et il en serait autrement s'il se dérivait et se reposait dans des bassins convenablement disposés. L'étage supérieur de M. Collomb n'est donc pas un dépôt fluviatile , puisque nous n'en retrouvons pas le moindre exemple dans un fleuve

coulant avec moins de rapidité que ses grands courants descendant des Alpes.

La plaine d'Alsace a-t-elle été occupée par un grand lac au moment du dépôt du lehm? Je ne le pense pas et je ne vois pas de motifs pour le supposer : cependant il faudrait bien revenir à cette hypothèse si l'on admet que le lehm *a rempli tout l'intervalle compris entre les Vosges et la Forêt-Noire*. Mais viendrait ensuite la difficulté d'expliquer le morcellement de ce dépôt et sa complète disparition sur la plus grande partie de la surface du comblement, que des courants auraient entièrement bouleversée, et sillonnée de canaux d'écoulement dont on ne voit de traces sur aucun des points de cette immense plaine.

Si l'on considérait les amas isolés de lehm comme les témoins d'une ancienne masse, et en choisissant quelques cotes de hauteur, on arriverait avec M. Collob a conclure que ce lehm s'élevant au plus haut à 450 mètres, entre les Vosges et la Forêt-Noire, entre Heidelberg et Heilbronn à 260 mètres; enfin aux environs de Bonn à 65, la pente de la surface serait de 385 sur une longueur approximative de 100 à 120 lieues, soit 0,000808 à 0,00096, ou un peu moins de 1 mètre sur 1,000.

Mais il suffit de jeter les yeux sur la carte du bassin du Rhin pour comprendre immédiatement que le lehm ne se raccorde pas à ce plan incliné et qu'il est disposé en divers étages qui ne se rattachent pas les uns aux autres; ainsi dans un espace

très-resserré, on le voit à Lutterbach, à la cote 255, à Mulhouse à 243; sur les plateaux de Brubach à 340, de Valbach à 379, et de Franckein à 415.

Le sol des Vosges se relève dans la direction des montagnes, en suivant une inclinaison moyenne qui n'est pas de un demi degré à l'ouest, mais qui, à l'est sur l'Alsace, dépasse 6 degrés. Mais on le sait, tous les terrains de cette contrée, loin de se rattacher uniformément à ces deux plans inclinés, offrent une suite d'étages successifs indépendants. Il en est de même du lehm, dont chaque dépôt est une accumulation séparée, faite dans des conditions indépendantes d'un phénomène général de comblement boueux.

L'idée de soulèvements postérieurs destinés à produire le relèvement du lehm au-dessus de la nappe de comblement et sa distribution par étages n'est pas soutenable. La régularité du comblement aux pieds des proéminences de Mulhouse au Fogelberg, prouve bien qu'il n'y a ni relèvement, ni affaissement de tout ou partie du sol. M. E. Collomb le reconnaît lui-même, puisqu'il dit qu'il n'est pas *absolument* nécessaire d'admettre un changement ou soulèvement postérieur dans le relief du sol pour discuter les différentes altitudes du lehm.

Il pense que le Rhin est plus rapide aujourd'hui que le fleuve qui a présidé à la formation de la plus grande partie de la plaine. Ceci ne s'accorderait guère avec ses indications des courants *violents*

et doués d'une grande énergie, sortant tantôt des Alpes, tantôt des Vosges. Il admet en outre qu'avec une pente aussi faible, surtout dans le sens transversal, où elle est considérée comme nulle, il n'est pas nécessaire non plus de supposer au fleuve une largeur permanente de 10 à 12 lieues; que le pied des Vosges, comme le pied de la Forêt-Noire, pouvaient être successivement submergés suivant le caprice des eaux, qu'aucune barrière ne retenait.

Quels que soient les caprices d'un courant, qui, sur une nappe de sables et de gravier, modifie et déplace son lit, il ne peut s'élever ou s'abaisser qu'en raison du volume d'eau débitée; que le Rhin se soit porté alternativement aux pieds de ces deux chaînes de montagnes, c'est une hypothèse qu'on ne peut admettre, puisque en dehors des terrasses bordant son lit, on ne voit pas de traces de canaux d'écoulement, ni accumulations, ni distributions de matériaux rappelant l'action d'un courant. Mais ce n'est pas de ces divagations du Rhin qu'il s'agit; pour expliquer la formation de dépôts de cailloux et de lehm sur les plateaux élevés, il faut aller plus loin et admettre l'inondation de la plaine et des côteaux, une inondation générale du bassin: il le faut, puisque M. Collomb reconnaît que le lehm a pu se placer sur les points où il se trouve, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer des soulèvements postérieurs.

Pendant, un peu plus loin, il pense que le fleuve n'avait pas une largeur permanente de 10

à 12 lieues, et cependant le Rhin ne pouvait recouvrir le Fogelberg, à la cote 455, monter de 222 mètres au-dessus de Kembs, et laisser à sec la plaine de la rive droite; et dans ce moment surtout couler avec moins de rapidité qu'aujourd'hui, puisque *forcément*, eu égard à la pente de la nappe, il devait avoir (avec cette hauteur *seulement*) une vitesse de plus de 15 mètres et débiter 47,700,000 mètres cubes d'eau par seconde.

Maintenant, je le demande, les solutions proposées sont-elles sérieuses? devons-nous croire sans examen et sans preuves?

1° Que le Rhin a coulé seul, à une certaine époque, et avec assez d'énergie pour combler le bassin entre les Vosges et la Forêt-Noire;

2° Que chargé de débris alpins, il a franchi les lacs de la Suisse qui, selon M. E. Collomb, *n'ont été recouverts par les anciens glaciers que bien postérieurement au comblement inférieur de la vallée;*

3° Qu'ayant perdu momentanément de son énergie, des torrents latéraux *et violents* ont ensuite recouvert le diluvium alpin d'une nappe réglée longitudinalement et transversalement, et suivant un plan continu de Bâle à Mayence, quoique débouchant sur divers points dans le bassin; et que ces torrents, de volumes et par conséquent de forces différentes, ont cependant produit les mêmes effets, un travail uniforme régulier;

4° Qu'ensuite ils ont eu aussi leur moment de

repos pendant que le Rhin reprenant une nouvelle énergie est venu couvrir la plaine de ses eaux boueuses ;

5° Que ce fleuve, suivant son caprice, inondant tantôt une rive, tantôt une autre, a formé des dépôts de lehm d'une légèreté et d'une mobilité extrêmes à près de 200 mètres au-dessus du niveau de son lit actuel. Qu'avec cette élévation le bassin n'était pas entièrement noyé ; que sur la nappe inclinée et avec une lame d'eau de plus de 200 mètres, sa vitesse était plus faible qu'aujourd'hui ; enfin qu'après avoir créé un *sédiment évidemment lacustre*, lorsque sa marche était de plus de 15 mètres par seconde, il a détruit la masse principale de ce dépôt au moment où son volume et sa force diminuaient, et que cette immense érosion s'est arrêtée précisément à la surface même du gravier, sans attaquer cette nappe sur un seul point. Explications évidemment contradictoires et qui conduiraient tout simplement à une réforme complète, mais heureusement impossible des lois naturelles.

Je n'ai donc trouvé dans ces observations, auxquelles je fais cette réponse, aucun motif de modifier mes premières conclusions, et surtout aucune preuve de l'origine fluviale des comblements des vallées du Rhin et des Vosges. D'accord avec M. Collomb, je n'ai vu aucune différence entre les surfaces des nappes de comblement et leurs portions inférieures ; la masse appartient à un seul et même dépôt ; et ce dépôt recouvert par les moraines frontales,

renfermant toujours des galets erratiques, tels que les glaciers continuent à les former sous nos yeux, et enfin du lehm ou boue glaciaire, comme élément constitutif, est à ces anciens barrages ce que les moraines frontales actuelles sont aux nappes ou moraines profondes des glaciers en activité (1).

Et faut-il encore le rappeler, le comblement du Rhin est une nappe régulière, un plan incliné qui se prolonge, sans solution de continuité, depuis les bords du Rhin jusqu'au fond des vallées des Vosges; depuis l'extrémité inférieure du bassin jusqu'à la Via-Mala, et dans les autres vallées jusqu'aux pieds des premiers redants interrompant la ligne de pente de ces cavités. Au delà, le même plan incliné se retrouve par étages successifs jusque sous les glaciers actuels; que les bassins soient larges ou rétrécis, la régularité est constante.

Un moteur, tel qu'un courant, n'agit cependant pas avec la même énergie sur tous les points de son cours: les rivières, les torrents perdent ou acquièrent de la vitesse suivant que leurs lits sont accidentés, élargis ou rétrécis; ils ne forment des

(1) A l'appui de ses objections relatives à mon mémoire sur le terrain erratique du Rhin, M. E. Collomb a donné une coupe de l'allée blanche (a), sans doute pour expliquer la formation du diluvium dans la région des glaciers: j'aurai à cet égard à présenter quelques observations, en attendant que l'auteur se soit décidé à publier l'explication de cette coupe.

(a) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2^e série, t. 8, pl 2, p. 72.

dépôts que sur quelques points; ils creusent ou comblent dans des conditions données et connues; et leurs lits, dans les accumulations de sables ou de graviers, loin de présenter une ligne de pente continue, comme la nappe dont il est question, offrent une série de courbes, de renflements et de dépressions; sur leurs rives, les alluvions sont mamelonnées et les lits de déjection des torrents sont des cônes plus ou moins relevés et inclinés. En quoi donc le comblement du Rhin ressemble-t-il aux terrains formés ou remaniés par les cours d'eau?

Dans mes mémoires sur le terrain erratique de la vallée du Rhin et dans cette note, je me suis plus particulièrement préoccupé de l'ensemble des dépôts, et j'ai négligé une foule de détails et de preuves que j'aurais dû réunir si j'avais eu à préparer une monographie des terrains superficiels de ce vaste bassin : et je m'étais uniquement proposé de démontrer que les matériaux de comblement n'avaient pas été transportés par des courants.

Les objections de M. F. Collomb, je viens de l'expliquer, ne sauraient à cet égard ébranler mes convictions, et sa théorie, toute séduisante, toute simple et toute naturelle qu'elle puisse paraître, quand on étudie de loin ces formations superficielles, devra subir des modifications importantes et une révision complète, s'il veut chercher à l'appliquer sur le terrain à toutes les questions de détail, et pour expliquer des faits particuliers dont il faut enfin tenir compte.

Au delà d'une certaine limite, arbitrairement fixée, M. Collomb fait intervenir l'action exclusive des eaux : les glaciers, selon lui, ne sont pas sortis de la région des montagnes.

Les distances entre Bâle et Strasbourg, entre les Vosges et la Forêt-Noire, sont trop grandes pour que l'on puisse embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble et les détails des dépôts ; aussi, pour simplifier la question que je désire soumettre, en terminant, à l'examen de mon confrère, je choisirai une coupe transversale d'une vallée, offrant, sur un kilomètre au plus, un exemple des dispositions caractéristiques des dépôts erratiques du bassin du Rhin.

La moraine frontale de Longuet, située au-dessous de Remiremont, marque la première station de l'ancien glacier de la vallée de la Moselle. A partir de ce barrage, on ne rencontre plus en descendant que des nappes profondes et des dépôts latéraux ; cependant un amas de blocs énormes est jeté dans une vallée latérale à 4 kilomètres à l'amont d'Épinal ; et, un peu au-dessous de cette ville, on aperçoit encore quelques blocs granitiques épars sur le comblement.

En suivant le cours de la Moselle jusqu'à Châtel, à environ 40 kilomètres à l'aval de Longuet, on aperçoit (*pl. 3*) constamment la nappe profonde qui se prolonge au loin et bien au delà ; cette nappe, parfaitement réglée longitudinalement et transversalement, a été attaquée sur divers points et sillonnée

par deux cours d'eau latéraux, l'Avière et le Durbion, et par les diverses branches de la Moselle qui exécutent continuellement, quoique sur une plus petite échelle, des travaux analogues à ceux que le Rhin pratique dans son lit.

Ici, le comblement offre tous les caractères du *diluvium* de M. Collomb : les galets qu'il renferme, comme ceux du Rhin et des vallées affluentes des Vosges, peuvent être considérés comme des *galets roulés* ; ils sont de diverses formes pourtant, mais tous généralement polis et arrondis. Ils sont principalement granitiques (et sous cette qualification je comprendrai les galets de toutes les roches cristallines de la vallée) : on y rencontre cependant, mais en très-minime quantité, quelques quartzites, quelques poudingues, quelques schistes, débris du grès des Vosges, du grès rouge et du terrain de transition de Bussang.

La largeur de la nappe, entre les coteaux bordant le bassin, n'est ici que de 800 mètres, et il ne faudrait pas une crue considérable de la rivière pour que toute sa surface fût recouverte ; aussi, dans l'hypothèse d'un diluvium, ne serait-il pas nécessaire d'imaginer un torrent puissant et violent pour rendre compte du transport des matériaux et de leur arrangement dans le fond de la vallée ? et c'est précisément pour simplifier la question, sur le point délicat de la production et de l'alimentation d'un courant, que j'ai choisi un exemple dans cette localité. Toutefois, pour les dépôts des plateaux, il faudrait encore

concevoir une lame d'eau de plus de 100 mètres et dépassant la ligne de niveau A B.

Si l'on voulait se borner à l'examen du fond du bassin, comme on l'a fait jusqu'ici pour l'Alsace, *le nivellement de la surface* ne paraîtrait peut-être pas une preuve suffisante de l'intervention d'un glacier, surtout si l'on voulait établir une distinction entre les *galets roulés*, qu'on y rencontre, et les galets identiques renfermés dans les moraines de Longuet, ou façonnés par tous les glaciers indistinctement. Mais les distances à parcourir pour étudier une coupe transversale complète n'étant pas considérables, et le trajet d'une rive à l'autre n'offrant aucune difficulté, quelques instants suffiront pour vérifier et constater les faits suivants :

1° Sur la rive droite,

La nappe (n° 2.^a) se termine au pied d'un escarpement fortement incliné de rochers calcaires, recouvert à son pied d'un revêtement incliné à 26° d'argile sableuse, mêlée de galets granitiques et qui semble avoir été fortement comprimée (2.^b). Au sommet de l'escarpement, à environ 20 mètres au-dessus du niveau de la nappe, on rencontre un dépôt argileux, *renfermant exclusivement des galets quartzeux*, provenant de la destruction du grès des Vosges (2.^c); et ce dépôt s'étend sur les sommités voisines à 74 et à 103 mètres au-dessus du niveau de la nappe;

2° Sur la rive gauche,

Un revêtement semblable à la nappe s'applique contre l'escarpement calcaire, bordant un affluent, l'Avière : cet escarpement, à 19 mètres au-dessus du comblement, est recouvert par un étage de la nappe, composé des mêmes éléments identiquement disposés (2.^a).

Au delà de la route passant sur ce plateau, en montant vers Aubiay, les galets granitiques disparaissent complètement et l'on ne retrouve plus que des quartzites du grès des Vosges, seuls ou mélangés à quelques fragments de calcaires. Les coteaux séparant l'Avière de la Moselle, à 60 mètres au-dessus de la nappe, sont aussi recouverts de quartzites (2.^c).

Tous ces matériaux ont évidemment été transportés, soit dans le même temps, soit successivement par des courants ou par des glaciers.

Par des courants, on n'expliquerait ni leur arrangement, ni leur distribution en nappes presque horizontales, en revêtements inclinés, ni leur séparation en groupes distincts. On comprendrait encore moins comment ils auraient franchi les vallées transversales, telles que celles de l'Avière et du Durbion. Dans le fond de la vallée, la rivière n'exécute aucun travail de nivellement, elle bouleverse, au contraire, les portions de la nappe soumises à son action.

Un torrent aurait dû débiter assez d'eau, non-seulement pour toucher les deux rives, mais encore pour submerger les coteaux dominant le bassin,

en s'élevant de plus de 100 mètres au-dessus du niveau actuel de la Moselle ; et si l'on ne voulait pas admettre cette crue extraordinaire, il faudrait revenir à l'idée de soulèvements postérieurs pour produire ces divers étages.

Mais alors on retomberait dans une autre difficulté : dans un terrain de transport formé par un courant, tous les matériaux seraient confusément entassés, et, au point où nous nous sommes arrêtés, on aurait un mélange complet de tous les galets provenant des roches d'amont ; il n'en est rien pourtant, les cailloux de quartzites et les galets granitiques sont séparés et diversement groupés.

Dans tous les cas, la nappe du plateau de la rive gauche, étant la même que celle du fond de la vallée, fait partie du même dépôt. Il y aurait donc eu d'abord comblement granitique, puis comblement supérieur provenant de la destruction du grès des Vosges, et, en dernier lieu, érosion d'une partie de ces dépôts, jusqu'à la surface actuelle de la nappe, et suivant un plan incliné régulier.

Mais sur la rive droite, le dépôt argileux renfermant des galets granitiques diffère essentiellement des accumulations du fond de la vallée et du plateau de la rive gauche. L'eau de la Moselle n'aurait même pu le toucher à aucune époque sans le délayer, sans l'entraîner et sans le détruire complètement. Puis, on peut le vérifier, les dépôts de cailloux du grès ne reposent nulle part sur les amas granitiques, ils font suite l'un à l'autre, et les amas de quartzites

non mélangés ne descendent jamais au-dessous d'un certain niveau.

Tandis qu'en admettant l'intervention des glaciers, tout s'explique sans difficultés.

Le glacier principal de la Moselle occupait toute la vallée. En sortant des cirques granitiques de la chaîne, il ne pouvait avoir pour moraine profonde qu'un dépôt granitique : entre les sommités de la chaîne et Châtel, le grès des Vosges n'existe, dans la vallée, que sur quelques points; aussi, à partir de Jarménil, des sables et des galets provenant de sa destruction commencent-ils à se mêler, en très-minime quantité, à des débris granitiques.

Les glaciers secondaires, sortant des vallées latérales ouvertes dans le grès ou bordées de plateaux couronnés par ce terrain arénacé, ne pouvaient pénétrer dans le glacier principal et descendre jusqu'au fond du bassin; entraînés latéralement, ils ont déposé latéralement aussi, et à diverses hauteurs au-dessus du comblement du bassin, leurs moraines profondes composées de bandes parallèles de galets granitiques à la partie inférieure et de galets quartzeux au-dessus.

Latéralement, sur les rochers calcaires, le glacier principal a produit des amas d'une boue provenant de la trituration de ces roches et mêlée aux sables et aux galets granitiques.

Sur les coteaux et sur tous les points envahis par les glaciers secondaires sortant de la région des grès, les argiles, tantôt assez pures, tantôt sableuses,

deviennent graduellement calcaires ; mais ce qui les distingue surtout, c'est qu'elles ne renferment que des débris provenant de ces grès.

Dans la distribution des matériaux des comblements on trouve encore de nouvelles preuves de l'origine erratique de ces accumulations ; il n'est pas toujours facile de déterminer les gisements d'où proviennent toutes les roches cristallines *roulées* dans les nappes profondes et dans les revêtements des plans inclinés ou des plateaux. Pour quelques-unes, cependant, il n'est pas possible de se tromper : les syénites rouges et violacées des Ballons sont des types parfaitement reconnaissables : les serpentines se distinguent très-bien aussi de tous les autres galets ; les fragments de ces roches sont associés aux autres débris transportés, et, dans l'hypothèse de M. Ed. Collomb, ils auraient inévitablement été jetés sans ordre dans les comblements et sur divers points de la vallée. Les courants des bassins de la Moselle et de la Vologne s'étant réunis, et ayant dû, çà et là, franchir des passages assez resserrés, auraient entassé confusément les divers débris entraînés par leurs eaux, ce qui n'a pas eu lieu.

Les syénites transportées par le glacier principal, sortant des gorges du Ballon et plutôt poussées vers la rive gauche par les nombreux et puissants affluents de la Moselotte, de Cleurie et de la Vologne, ne dépassent guère le milieu de la vallée ; sur la rive droite, on n'en trouve pas le moindre débris ; les serpentines appartenant aux affluents de droite, de Cleurie et de la Vologne, suivent constamment cette

rive droite, et parviennent rarement jusqu'au milieu de la nappe.

Sur les flancs des Vosges, et dans la vallée même de la Thur, après le défilé de Thann, la même distribution par bandes parallèles s'observe constamment : les mélanges accidentels, les perturbations n'ont lieu que dans les portions du comblement exposées aux remaniements incessants qu'opèrent les cours d'eau dans les limites de leurs lits : au delà la distribution est régulière, et telle qu'on peut la prévoir en jetant les yeux sur les cartes topographiques et géologiques ; et c'est même au moyen de ces bandes de galets qu'on pourra rétablir les cartes des anciens glaciers, et comprendre les déviations plus ou moins sensibles qu'ils ont dû subir suivant la puissance et le nombre de leurs affluents. Y-a-t-il quelque chose d'analogue dans le régime des eaux, dans les déjections des torrents et dans les alluvions des rivières ?

Ce que je viens d'indiquer représente, sur une petite échelle, ce que l'on observe en grand dans la contrée autrefois envahie par le glacier du Rhin. Sur les flancs des montagnes des Vosges et de la Forêt-Noire, et dans toute la région des montagnes de la Suisse, le terrain erratique offre les mêmes dispositions ; sur des plans inclinés on rencontre à chaque pas des accumulations de sables, de graviers, et de blocs, des bandes parallèles, intimement liés aux dépôts inférieurs des bassins et ayant évidemment la même origine.

Le comblement inférieur n'est qu'une portion des

revêtements erratiques distribués dans les plaines aussi bien que sur les montagnes, et formant un ensemble que des causes locales, agissant isolément, tantôt avec calme, tantôt avec violence, auraient troublé et non produit.

Ces dépôts sont liés entr'eux comme le sont les moraines profondes, frontales, latérales et superficielles, les amas de blocs, de sables et de galets des glaciers en activité. Pour faciliter l'examen et l'étude de ces terrains glaciaires, on les décrit isolément, mais on se garde bien d'en attribuer la production à des causes diverses; admettre qu'à l'époque de leur plus grande extension, les glaciers n'agissaient pas comme aujourd'hui, c'est vouloir nier l'évidence des faits et compliquer inutilement un problème dont la solution ne saurait offrir aucune difficulté.

Les partisans du diluvium ont déjà renoncé à ces torrents puissants auxquels on attribuait le transport des blocs erratiques sur les lieux élevés; ils en ont compris l'impossibilité. En réduisant, même encore de beaucoup aujourd'hui, la puissance de leurs courants, ils ne seront pas plus heureux; le bassin du Rhin n'a été inondé à aucune époque; le fleuve ancien a marqué les limites de son cours dans la masse erratique; elles sont comprises entre les terrasses bordant son lit actuel de Bâle à Neuf-Brisach; les rivières des Vosges en ont fait autant. Au delà, non-seulement on n'aperçoit aucune trace de l'action des eaux, mais on retrouve, à chaque pas, des

dépôts qu'elles auraient détruits, si elles avaient pu les atteindre à un moment quelconque.

Les faits, les preuves sont donc pour nous; les traces de l'action glaciaire sont visibles et profondément marquées sur le sol de nos contrées; et le terrain erratique de la vallée du Rhin, des Vosges et de la Forêt-Noire est aussi nettement caractérisé, aussi incontestable que les moraines en voie de formation dans la région actuelle des glaciers: les formations erratiques *sont toujours recouvertes par les dépôts alluviaux*, constituant, autrefois comme aujourd'hui, l'étage supérieur des comblements, et nulle part l'on ne voit de traces de ce diluvium antérieur aux moraines anciennes et actuelles, récemment introduit sans nécessité, sans utilité et sans preuves dans l'échelle des terrains superficiels.

Le 15 mai 1851.

III.

DÉPOTS ERRATIQUES DE LA VALLÉE DE LA MEUSE.

En 1848, je n'avais encore aperçu aucune trace certaine de l'intervention des glaciers dans la formation des dépôts superficiels de la région occidentale des Vosges, où l'on rencontre des comblements anciens ou récents offrant tous les caractères de nappes d'alluvions ou de sédiment, et sur lesquels viennent s'établir les cônes de déjection formés par les ruisseaux torrentueux.

Dans le fond des vallées, les eaux continuent à augmenter graduellement la puissance de ces nappes par des additions successives de nouvelles couches de sédiment; à chaque crue elles débordent jusqu'aux talus des deux rives et déposent les détritits entraînés

dans les bassins par les eaux pluviales (1). Ce travail incessant des cours d'eau, sur des plans inclinés dont la pente est très-faible, explique la formation de ces amas boueux renfermant quelques lits sableux et très-rarement des débris de roches, qui constituent, sans exception, la couche superficielle des nappes de comblement des vallées de l'ouest des Vosges.

La puissance de cette couche superficielle doit être assez considérable, à en juger d'après l'inclinaison des talus bordant les bassins; mais il n'est pas facile de la constater, et, jusqu'ici, je n'ai pu recueillir des renseignements assez précis pour les déterminer.

Les rivières ne sont pas assez profondément encaissées, les coupures que l'on rencontre quelquefois sur leurs rives sont trop peu élevées, et les eaux étant presque constamment, ou à peu de chose près, au niveau de la surface des nappes, il n'est pas possible de pousser des fouilles assez loin pour reconnaître l'épaisseur du comblement alluvien et la base sur laquelle il repose; aussi, à cet égard, on ne peut aujourd'hui que former des conjectures.

Il est probable cependant que sous les couches boueuses superficielles existent des accumulations de galets, de véritables moraines profondes, dont nous allons retrouver des traces hors du département

(1) H. Hogard. *Coup d'œil sur les terrains erratiques des Vosges*, 1848.

des Vosges, en suivant le cours de la Meuse jusque dans les Ardennes; après avoir constaté, dans une vallée supérieure, celle du Mouzon, l'existence de dépôts évidemment erratiques, dont la présence est une preuve de l'action glaciaire dans toute l'étendue de la vallée, à l'époque de la plus grande extension des glaciers du système des Vosges.

Vers le mois de mai 1849, j'ai eu occasion de faire ouvrir une tranchée sur le flanc d'un coteau bordant la rive gauche du Mouzon, près du village de Rebeuville, et de mettre à découvert des rochers escarpés masqués en partie par des amas de terres et de débris provenant d'éboulements anciens. Les parois de ces rochers s'élèvent presque verticalement et forment un redan, vers le milieu du plan incliné à environ 45° du coteau. Elles offrent, sur quelques points, des traces évidentes d'usures et quelques sillons, des karren résultant de l'action des eaux (1).

Dans un pli, ou sorte d'enfoncement latéral, à 15 mètres au-dessus du niveau du Mouzon, on a rencontré un amas de sables et de galets arrondis ou offrant des surfaces planes et parfaitement polies, le tout disposé par couches irrégulières dans l'ordre suivant, du haut en bas (*Pl. 4, fig. 1*) :

- a. Blocs anguleux imparfaitement arrondis ou frottés, enveloppés d'une terre argileuse. 1 à 2^m.
- b. Argile jaunâtre et rouge 0^m,20.

(1) Ces karren sont de l'époque erratique et analogues à ceux des rochers de Saint-Mihiel dont il sera parlé plus loin.

- c. Sable calcaire (ou fragments très-petits de calcaire usés et frottés) mêlé d'argile et de sable ferrugineux . . . 0^m,40.
- d. Galets polis, arrondis et anguleux, libres ou réunis, sur quelques points, par un ciment ou tuf calcaire . . . 1 à 2^m.

Dans un autre pli, situé à quelques mètres de distance, on a rencontré un dépôt analogue, et le rocher formant une saillie, entre les deux amas, offrait des surfaces polies contre lesquelles j'ai trouvé plusieurs blocs parfaitement polis, dont l'un avait plus d'un mètre cube.

Dans le courant de la campagne suivante (1850), des travaux ont été exécutés, à l'amont de Rebeuville, sur un éperon (Abschwung) que contourne le Mouzon, près du moulin de Villars, au confluent du ruisseau du Bany, et qui se rattache aux proéminences séparant ces deux cours d'eau A (*Pl. 4, fig. 5*). Le chemin de Circourt, franchissant cet éperon, est établi entièrement en déblai, et de chaque côté de la tranchée, dont la profondeur est d'environ trois mètres, on voit un dépôt de sables, de galets et de lehm ferrugineux renfermant des grains arrondis de fer hydroxidé, des ossements et des dents d'éléphant, d'ours des cavernes, etc., etc. : dans le fond de la fouille le calcaire constituant l'éperon est mis à découvert, et sa surface inégale offre plusieurs relèvements verticaux dans le dépôt superficiel élevé de 20 mètres moyennement au-dessus du niveau du Mouzon.

On remarque ici, comme à Rebeuville, une sorte

de stratification, et quoique les galets forment des lits interrompus, renflés et irréguliers, on ne saurait douter de l'intervention de l'eau dans l'arrangement de ce dernier dépôt, auquel on s'est empressé d'attribuer une origine diluvienne.

La coupe (*fig. 5, pl. 4*) fera comprendre que le dépôt dont il s'agit forme une calotte au sommet d'un mamelon calcaire recouvrant des roches moutonnées, et non une accumulation remplissant une de ces fentes si communes dans la région du calcaire jurassique.

Si l'on attribue à ce dépôt une origine diluvienne, et si l'on veut expliquer le transport et le dépôt de l'amas argileux et des fossiles qu'il renferme par l'action des eaux, il faudra rechercher les causes d'une élévation extraordinaire du Mouzon et du ruisseau du Bany, non-seulement jusqu'à 20, mais encore jusqu'à 50 mètres, puisque les débris transportés se retrouvent au-delà du point que franchit le chemin en remontant le plateau; avec cette hauteur, le courant aurait eu de 5 à 6 mètres de vitesse par seconde et, pour une section de 1,800^m seulement, aurait débité environ 9,000^m cubes dans le même temps. Au confluent, il aurait éprouvé latéralement un ralentissement qui aurait permis aux galets, aux ossements et surtout au lehm de s'arrêter sur l'éperon.

Mais les galets ne forment pas un étage distinct dans le dépôt, ils y sont intercalés en lits irréguliers et à différentes hauteurs, ils auraient donc été

transportés et abandonnés sur le plateau en même temps que le lehm et sous l'influence du même courant, animé d'une vitesse suffisante pour opérer un charriage de galets et d'ossements lourds et volumineux, mais évidemment trop forts pour permettre au lehm de se déposer; les sédiments boueux ne se produisant que dans les bassins où les eaux sont stagnantes.

Les galets sont *roulés*, usés, frottés et polis. Ce sont des calcaires compactes, des *quartzites* et des grès durs du lias.

Les ossements fossiles n'offrent aucune trace de frottement, et cependant ils ne sont ni à la surface, ni dans une fente remplie postérieurement; mais ils sont à diverses hauteurs, et principalement vers la base du dépôt, mêlés et associés à des galets, souvent agglomérés sous forme de poudingue osseux par un ciment ferrugineux.

Les uns et les autres, ayant été transportés et remontés à 20 mètres au-dessus du fond de la vallée, et s'étant arrêtés au sommet de l'éperon, sans tomber à ses pieds, devraient offrir les mêmes traces de chocs ou de frottements, mais il n'en est rien, et j'arrive tout naturellement à cette conclusion: que les galets et les ossements abandonnés sur le plateau de Villars n'ont pas été roulés jusqu'à ce gisement par des courants faibles ou violents; la parfaite conservation des uns en offre une preuve évidente, et leur présence dans des amas de galets roulés et polis, de roches triturées et étrangères à

la localité prouve en outre qu'au moment où le dépôt s'est constitué, le mélange des matériaux dont il se compose s'est effectué lentement et dans le calme le plus complet, sans aucun mouvement de translation, conditions absolument nécessaires pour assurer la conservation la plus complète des fossiles et permettre aux galets de s'arrêter et au lehm de se déposer sur l'éperon.

On le voit donc, en admettant l'intervention d'un courant passant à 20 ou 30 mètres au-dessus du fond de la vallée, et ayant assez de force pour opérer le transport et le mélange des fossiles et des matériaux réunis sur ce point, il n'est pas possible d'expliquer les faits observés, et l'on n'arriverait pas à une solution plus satisfaisante, si l'on revenait à l'hypothèse d'une inondation générale de la contrée; dans un lac aux eaux chargées de détritits, le lehm aurait pu certainement se déposer, et sur d'autres points où il n'en existe pas de traces aussi bien que sur l'éperon de Villars, et envelopper des ossements d'animaux accidentellement amenés ou détruits au confluent des deux vallées; mais évidemment les galets roulés n'auraient pu remonter jusqu'à la hauteur où ils se trouvent aujourd'hui.

A l'égard du dépôt de Rebeuville, on arrivera nécessairement aux mêmes conclusions.

Les galets y sont usés et polis; une surface du rocher offre des traces évidentes de frottements; l'étage supérieur est formé de blocs anguleux ou

imparfaitement arrondis, et d'un volume assez considérable; des blocs d'un mètre cube antérieurement frottés et polis sont relevés à plus de 15 mètres au-dessus du niveau du Mouzon, et sous ce premier étage se trouvent des lits de sables très-fins.

Les eaux, d'abord assez calmes, auraient donc déposé sur la rive gauche de la vallée, soit contre des escarpements, soit sur un plan incliné à 45° moyennement, des matériaux réduits à l'état sableux, des galets arrondis de faibles dimensions; puis en s'élevant et en acquérant plus de force, elles auraient recouvert ces sables d'argiles mélangés de gros blocs, et sans détruire la base extrêmement meuble sur laquelle ces blocs reposent? Enfin, lors de leur retraite, le dépôt, qui offre des traces évidentes d'une forte compression latérale, n'aurait pas été miné à sa partie inférieure offrant si peu de consistance qu'elle glisserait et croulerait infailliblement si, pendant quelques instants, elle se trouvait, non pas exposée à l'action d'un courant qui la détruirait immédiatement, mais seulement imbibée et pénétrée par le plus mince filet d'eau.

Ces deux amas sont pour moi deux dépôts erratiques; ce dernier, une portion de moraine latérale, et celui de Villars un dépôt lacustre placé au confluent de deux glaciers dans un petit lac, analogue à celui qui existe au pied de l'Abschwung, à la jonction des glaciers du Finster-Aar et du Lauter-Aar.

Dans un petit lac, des déjections boueuses ont

pu s'accumuler et se mêler aux galets rejetés latéralement et principalement par le glacier du Mouzon ; s'arrêter sur ce plateau sans déborder la ceinture de glace enveloppant le bassin ; des ossements abandonnés au pied de l'Abschwung, ou sur les rives des glaciers ont pu y tomber et se mêler au lehm et à des galets arrivant tout façonnés, tout roulés et frottés au même point, comme cela a lieu journellement dans les lacs glaciaires, où l'on retrouvera, dans les mêmes conditions, des ossements de chamois, de marmottes, de chèvres et de moutons de l'époque actuelle.

A Rebeuville, la portion de moraine appliquée contre et dans les enfoncements des escarpements du calcaire jurassique, a pu rester en place après la disparition du glacier ; des matériaux plus volumineux ont pu être rejetés sur des sables de trituration ; et ce dépôt glaciaire, distribué dans un ordre inverse de celui que l'on observerait dans une déjection alluvienne, n'a pu se maintenir que parce qu'évidemment il n'a jamais été atteint par les eaux du Mouzon.

La présence de ces premières traces incontestables de l'action glaciaire dans une des vallées affluentes du bassin de la Meuse, ne pouvait manquer de me faire comprendre la nécessité de rechercher l'origine des comblements de la partie inférieure de cette grande vallée, et par quelle voie des matériaux évidemment vosgiens auraient été entraînés jusque dans la basse Meuse et rejetés sur diverses

proéminences à partir du bassin de la Moselle, vers les Ardennes.

« On sait que sur les bords de la Meuse (1) le sol contient une *grande quantité* de cailloux roulés de toutes grosseurs; tantôt ces cailloux sont disséminés, tantôt ils sont réunis par un ciment peu consistant; à cet état, ils forment des massifs de rochers qui affluent dans plusieurs localités; on rencontre ces brèches sur les hauteurs de Saint-Privas (près Verdun, etc.); les mêmes terrains se montrent aussi dans l'arrondissement de Commercy.

» En examinant attentivement la forme de ces fragments roulés, leur nature, on est porté à les reporter au système vosgien..... et la parfaite ressemblance que la plupart ont avec les poudingues vosgiens, *ne permet pas de contester leur origine.*

» La présence de ces dépôts (décrits sous la dénomination *d'alluvions* anciennes) sur les hauteurs qui bordent la Meuse près de Verdun peut, selon l'auteur, être expliquée par un volume d'eau plus considérable.....

Dans les Ardennes (2), des cailloux de la grosseur d'un œuf et au-dessus, *qui proviennent des roches des Vosges*, couvrent l'affleurement du calcaire ferrugineux, des marnes du lias et même le bord de l'oolite inférieure sur la rive gauche de la Meuse;

(1) Gaulard. *Description géologique du département de la Meuse.* Verdun, 1836.

(2) *Statistique des Ardennes*, par MM. Sauvage et Buvignier, 1842.

à 100 et 150 mètres au-dessus de son lit actuel. Ces produits *diluviens* se rencontrent surtout entre Mouzon et Frenois; ils forment aussi de petits coteaux subordonnés aux collines latérales et qui s'élèvent de 30 ou 40 mètres au-dessus de la rivière.... On les retrouve encore sur les plateaux surbaissés de Létanne et de Beaumont, à 50 et 60 mètres au-dessus de la vallée, et assez loin de celle-ci; ils alternent par lits avec du sable et présentent *les caractères d'un dépôt tranquille*. Enfin on a cru remarquer les traces d'un courant qui, du bassin de la Meuse, aurait jeté sur les plateaux de Saint-Georges et dans la vallée de l'Aire des galets provenant du *diluvium* de la Meuse, en franchissant un col entre Cunel et Saint-Juvin.

Dans le département de la Meurthe, le *diluvium des plateaux* a pour caractère général (1) d'être composé d'une argile jaune d'ocre, jaspée de blanc, et de renfermer des cailloux arrondis, *exclusivement quarzeux*. On le trouve couronnant des plateaux élevés, jusqu'à l'altitude de 400 mètres, c'est-à-dire dominant les vallées de 200 mètres.

» Cette même argile se trouve cependant aussi dans le fond des vallées, mais mêlée alors, non pas seulement de *cailloux quarzeux*, mais de *cailloux granitiques, dioritiques ou autres, propres*

(1) *Aperçu de la constitution géologique de la Meurthe*, par M. Levallois. *Mémoire de la Société des sciences, lettres et arts de Nancy*, 1850.

à ces vallées : dans ces conditions le terrain superficiel a reçu la dénomination de *diluvium des vallées*.

Tels sont les faits sur lesquels nous sommes tous d'accord, et qui ont été constatés et vérifiés à diverses reprises. On sait donc que des cailloux provenant des Vosges se retrouvent dans les vallées de la Meuse et de ses affluents, ainsi que sur des plateaux élevés; que dans la Meuse et sur les plateaux, jusqu'à la Moselle, ces cailloux sont exclusivement *quarzeux*, tandis que dans le fond de cette dernière vallée, et dans toutes celles qui viennent s'y jeter, les cailloux représentent toutes les roches propres à ces vallées, les quartzites, les granites, les diorites, etc., etc. Enfin que sur la rive droite de la Moselle, aussi bien que sur les plateaux qui dominant la Meuse, on remarque des dépôts d'argiles mêlées de cailloux exclusivement quarzeux.

Aussi a-t-on divisé ces dépôts en deux étages, l'un nommé *diluvium des plateaux*, et l'autre *diluvium des vallées*.

Les cours d'eau actuels n'exécutent aucun travail analogue; les matériaux qu'ils déplacent ou qu'ils charrient et déposent, sont tous confusément entassés et mélangés; et la Moselle d'aujourd'hui, parcourant une contrée dont la constitution géologique n'a pas varié depuis l'époque dite diluvienne, n'a pas la propriété de séparer les cailloux provenant de la destruction du grès vosgien, de les rejeter seuls sur ses rives, et de ne conserver dans les limites de son lit que les galets granitiques et toutes les

autres roches cristallines du bassin. Que sa puissance et sa force viennent à augmenter, et elle exécutera sur une grande échelle ce qu'elle produit en petit, en raison de sa force actuelle; et qu'elle parvienne à s'élever à l'altitude de 400 mètres et à transporter des galets sur les plateaux des environs de Toul, de Verdun et des Ardennes, ou dans le bassin de la Meuse, ses déjections alluviennes offriraient un mélange de toutes les roches d'amont.

Cette différence essentielle entre les dépôts des plateaux et ceux des vallées, sur le versant de la Moselle, et l'identité des uns et des autres, dans le bassin de la Meuse, sont des caractères qui révèlent, d'une manière certaine, le mode de production de ces prétendues alluvions, et la nature de l'agent sous l'influence duquel elles ont eu lieu.

Un courant diluvien franchissant le col de Foug ou du val de l'Ane, passages les plus déprimés entre la Moselle et la Meuse, aurait eu une puissance et une vitesse très-grandes pour agir encore dans la basse Meuse; et cependant les dépôts dont il s'agit, ainsi que l'ont fort bien remarqué les auteurs de la statistique géologique des Ardennes, ont l'aspect de *dépôts tranquilles*. Sur les plateaux, les cailloux sont associés à des argiles qui n'auraient pu s'accumuler sur des lieux élevés, si elles avaient été entraînées ainsi que les galets par des courants violents.

S'il y avait eu inondation du bassin de la Moselle, et seulement déversement du trop-plein dans la

Meuse, un lac d'une très-grande étendue aurait existé à l'amont de Toul; à partir des environs d'Igney, dans les Vosges, les eaux auraient été stagnantes, et le transport des matériaux de la région du grès des Vosges n'aurait pas été possible au travers des eaux tranquilles du lac, et jusqu'aux plateaux élevés de ses rives (*Pl. 4, fig. 7*).

A Épinal même, le courant aurait dû s'élever à la cote de 468 mètres, puisque l'on rencontre sur les plateaux voisins de cette ville, à cette hauteur, des dépôts de galets quarzeux transportés, c'est-à-dire à 168^m, moyennement au-dessus du lit actuel de la Moselle; à droite et à gauche, sur toutes les proéminences qui bordent cette vallée, on retrouve ces mêmes dépôts, tandis que les galets granitiques constituent le comblement inférieur; enfin un courant aurait entraîné hors du bassin de la Moselle un mélange de tous les matériaux constituant le comblement, jusqu'à la hauteur de Toul ou de sa dérivation présumée vers la Meuse.

J'ai déjà eu occasion de signaler les différences qui existent entre les dépôts du fond de la vallée et ceux qui couronnent les plateaux, en suivant le cours de la Moselle au-dessous d'Épinal, et d'insister sur la nécessité de chercher à leur formation, à la translation et au triage des matériaux qui les constituent une autre cause.

En jetant les yeux sur la carte géologique des Vosges, on voit que la région granitique ou des montagnes est séparée des formations calcaires et

des contrées où les galets quarzeux se retrouvent exclusivement, par le grès des Vosges formant une large ceinture autour de ces montagnes, et qui s'étend au loin à droite et à gauche des vallées de la Moselle et de la Meurthe.

Cependant aucune des coupures ou vallées secondaires ouvertes dans cette masse arénacée n'est en communication directe avec la Meuse et n'a pu fournir les éléments des comblements qu'on y observe; tous les cours d'eau aboutissant à la Moselle mêlent à cette rivière leurs eaux et leurs alluvions, et ce n'est que hors des limites des plus hautes crues que l'on aperçoit ces bandes parallèles de galets, constituant les terrains de transport, offrant un triage que les eaux auraient troublé et non produit.

Sur cette carte, et suivant les limites tranchées de chacun des dépôts, si l'on rétablit les anciens glaciers des Vosges, d'abord jusqu'aux accumulations de blocs erratiques les plus anciens, jusqu'aux premières moraines frontales, on comprend le mécanisme de la formation et du transport des différentes parties des terrains superficiels.

Le glacier sortant de la région granitique jusqu'à la rencontre des premiers lambeaux de grès, ne transportait que des débris de roches cristallines, dont les moraines frontales, latérales et profondes sont exclusivement formées dans la haute vallée, tandis que, dans la région arénacée et au-dessous, des galets quarzeux sont venus s'y ajouter.

Mais les glaciers latéraux provenant des vallées

du grès des Vosges, joignant le glacier principal et cheminant latéralement avec lui, ne pouvaient fournir que des débris de ce grès, et mélanger aux argiles et aux marnes provenant de la destruction des calcaires, que des galets quarzeux, les mêmes dispositions, les mêmes causes, dans divers vallées, ont dû produire les mêmes effets; et c'est ce que l'on observe dans le bassin de la Meurthe, et dans tous ceux qui ont leur origine dans la région granitique, aussi bien que dans celui de la Moselle.

La moraine profonde du glacier principal, que ne pénétraient et ne pouvaient pénétrer les glaciers secondaires, comprend un mélange de tous les matériaux d'amont : aussi la différence signalée entre les comblements des plateaux et ceux des vallées est-elle parfaitement motivée.

Que ce glacier se soit étendu au loin, jusqu'aux limites extrêmes de la nappe de comblement et des déjections latérales sur les plateaux, on ne saurait en douter, si l'on veut tenir compte de l'ordre et de la distribution des dépôts.

A la hauteur des premiers plateaux couronnés de cailloux quarzeux; les glaciers latéraux se sont déversés sur les proéminences bordant le bassin, et ceux de la rive gauche ont pu franchir ces mamelons aussi bien que les cols pour se répandre dans la Meuse, et entraîner au loin avec eux les débris dont ils sont chargés, et consistant exclusivement en sables, en galets quarzeux mélangés à la

boue glaciaire et aux détritux argileux et calcaires provenant de la trituration des formations locales.

La boue glaciaire s'est alors déposée, soit dans le fond des vallées sur les moraines profondes, soit sur les plateaux ou sur les flancs des coteaux. Dans le premier cas, elle constitue des nappes sédimentaires produites dans des bassins inondés ; et dans le second, des amas qui n'offrent plus les caractères des dépôts lacustres et de sédiment.

La boue glaciaire ou le lehm qui se dépose journellement dans les lacs, alimentés par des courants sortant de la région des glaciers en activité, peut aussi s'accumuler sur certains points sans le concours des eaux ; on voit, à chaque pas, dans les Alpes, des exemples de déjections ou de coulées boueuses, sur des plans inclinés, dans l'intérieur et jusque sur les crêtes des moraines anciennes et actuelles, dans des défilés, où des courants ayant acquis une excessive vitesse, s'ils étaient sortis de leurs lits actuels, ne l'auraient pas laissée en place.

Les faits observés dans la vallée de la Meuse, loin de révéler l'intervention de courants diluviens, semblent donc prouver l'action d'anciens glaciers dans la production des dépôts superficiels, de ces accumulations de sables et de galets placés *lentement* et *successivement* sur des plateaux élevés, où ils n'auraient pu s'arrêter s'ils avaient été charriés avec une certaine vitesse, qu'il faudrait bien admettre dans l'hypothèse diluvienne.

Des glaciers seuls ont pu favoriser la production

du dépôt de Villars, au sommet d'un mamelon situé au confluent de deux vallées ; déposer sur les escarpements de Rebeville des galets, des blocs et des sables de trituration ; fournir les éléments des nappes stratifiées de lehm et en même temps des amas de détritrus identiques sur les lieux élevés.

Les eaux auraient pu détremper les formations argileuses et calcaires d'amont, charrier et abandonner, sur les plaines basses, dans des circonstances données, les éléments d'un lehm diluvien ; mais celui des plateaux, non-seulement ne se serait pas déposé et mêlé à des galets entraînés des faites secondaires des Vosges, mais il eût été infailliblement entraîné avec ces galets si, à une époque quelconque, des courants avaient atteint les sommités qui en sont recouvertes ; et faut-il encore répéter que des courants auraient encombré le lit de la Meuse et les terrains submergés de toutes les roches de la haute vallée de la Moselle indistinctement ; que nulle part, dans le régime des rivières, on n'observe un seul fait, un seul exemple à invoquer à l'appui des opinions que je cherche à réfuter, tandis que, dans la région des glaciers en activité, on retrouve une foule d'exemples des effets produits autrefois dans les Vosges et dans la Meuse, et l'indication précise, formelle, de la seule, *de la véritable cause* à laquelle ils doivent être rapportés.

Dans la formation de la partie superficielle des comblements des vallées de la Meuse, on ne saurait nier l'intervention de l'eau ; et les nappes superfi-

cielles, ainsi que je l'ai dit, continuent encore à s'élever graduellement ; mais les sédiments anciens sont recouverts par les déjections torrentielles qui s'étalent à leur surface ; tandis que les bases de ces cones s'unissent aux alluvions modernes et récentes, et marquent, par leur réunion, la limite des formations de l'époque erratique.

Les eaux ont aussi laissé des traces visibles de leur action, pendant cette dernière époque, en dehors des nappes sédimentaires recouvrant, selon toute probabilité, des accumulations plus ou moins puissantes de graviers.

En sortant de Saint-Mihiel, on aperçoit plusieurs rochers calcaires faisant saillie et coupés verticalement sur le flanc du coteau bordant la rive droite de la vallée. Ces rochers offrent des traces évidentes d'usure, de véritables karren que les eaux seules ont dû produire (*Pl. 4, fig.*).

Ces rochers sont presque tous couronnés par un chapeau formant saillie, une sorte de corniche séparée du surplus de la masse par un sillon arrondi, plus ou moins profond, résultant non de l'action d'anciens courants, comme on l'avait présumé, mais de la décomposition d'une couche moins résistante et que les agents atmosphériques continuent d'attaquer et de corroder. Comme ces sillons paraissent être horizontaux ou peu inclinés parallèlement au cours de la Meuse, on aurait pu penser qu'ils avaient été creusés par les eaux de la Meuse, élevées extraordinairement à l'époque diluvienne.

Mais en examinant attentivement les sillons, on voit qu'ils suivent rigoureusement le parallélisme des couches calcaires; que ces couches ne sont pas exactement dans le prolongement l'une de l'autre suivant un plan incliné régulier, et qu'il y a eu déviation par suite de légers plissements. Ainsi le rocher le plus éloigné de Saint-Mihiel, au sommet duquel on remarque un chapeau en forme de table (table du diable) posée sur un pied qui semble s'amincir tous les jours davantage, offre, sous cette table, un sillon incliné de un degré vers l'amont; au troisième rocher, en remontant, le sillon plonge de quatre degrés à l'aval; celui du quatrième de un degré seulement, tandis qu'au sixième l'inclinaison est de un degré à l'amont. Enfin les sillons que l'on remarque en outre sur les faces de ces rochers, à diverses hauteurs, ne sont plus parallèles à ceux de la partie supérieure, et ils ont au premier rocher, et vers l'aval, comme les couches dans lesquelles ils sont ouverts, 8 à 12° d'inclinaison (*Pl. 4, fig. 6*).

Mais sur divers points, on voit d'autres sillons irréguliers et diversement inclinés dont les parois offrent des traces d'usure, et l'on remarque, principalement sur les faces verticales regardant le talus du coteau, des cavités circulaires nombreuses creusées plus ou moins profondément, ayant tous les caractères des karren et des marmites, et qui prouvent que les eaux ont exercé leur action sur ces rochers (*Pl. 4, fig. 5*).

Serait-ce donc une indication d'inondations extraordinaires, et doit-on admettre que, si les eaux ont touché, comme cela paraît évident, les rochers et les coteaux bordant le bassin de la Meuse, près de Saint-Mihiel, la vallée a été autrefois envahie par un courant diluvien? Je ne le pense pas.

Un courant aurait pu corroder les couches les moins résistantes de ces rochers et y tracer des sillons inclinés comme ces couches elles-mêmes; mais il aurait entraîné et détruit les amas de sables appliqués sur les flancs des coteaux et dont on voit des exemples à l'amont, avant et après Commercy; de plus il aurait rejeté dans la vallée les galets et les argiles des plateaux.

Les cavités circulaires creusées sur les faces verticales accusent un travail plus ou moins prolongé de galets mis en mouvement par les eaux, et toujours les trous forés dans les rochers submergés sont ouverts de haut en bas, verticalement ou suivant diverses inclinaisons; tandis que les érosions latérales ne s'observent que sur des massifs anciennement et actuellement touchés par des glaciers, comme celles de la vallée du Hasli, de Meyringen au glacier de l'Aar, offrant à la fois des stries glaciaires, des karren et des trous circulaires de la plus parfaite conservation.

On comprend que sur une paroi verticale touchée et pressée par le glacier, un courant chargé de galets puisse produire ces perforations; que des galets mis en mouvement par un filet d'eau, tombant

contre cette paroi en suivant une cavité ouverte dans la glace, ne puissent être entraînés et soient continuellement maintenus ou remplacés pendant un certain temps; et que les déviations latérales de l'eau, coulant à la surface des glaciers ou dans les crevasses, laissent des traces de leur passage et de leur action sur les parois vers lesquelles elles sont projetées.

Mais dans un courant, dans un fleuve, des galets charriés suivant une même direction et parallèlement à la pente de la vallée, ne s'arrêtent pas ou ne restent pas suspendus aux flancs des rochers escarpés pour les corroder plus ou moins profondément et pour y produire des érosions latérales.

Les trous circulaires de Saint-Mihiel offrent donc les caractères des cavités résultant de l'action des eaux, de petits courants séparés, dirigés et maintenus dans des canaux débouchant contre les parois des rochers, et non d'un cours d'eau puissant qui, agissant en toute liberté, aurait laissé des traces différentes de son passage; et il faut encore reconnaître ici le concours de l'action glaciaire, et admettre qu'au moment où ces perforations ont eu lieu, ces rochers étaient enveloppés par la glace qui transportait dans la Meuse les galets vosgiens.

Aussi, d'après les motifs que je viens de rappeler et d'exposer sommairement, je rapporterai aux formations erratiques les dépôts de matériaux provenant des Vosges que l'on rencontre dans la Meurthe, dans la Meuse et dans les Ardennes. Je considérerai

comme des karren de l'époque glaciaire les cavités qu'offrent les rochers de Saint-Mihiel, de Rebeuville, et ceux qui s'élèvent, sur divers points, au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la Meuse.

En suivant le cours de cette vallée, on rencontre des dépôts analogues à ceux que les glaciers ont formé, dans les régions où leur existence, à une époque reculée, ne saurait plus être révoquée en doute; on y constate en même temps des traces évidentes, irrécusables de l'action des eaux. L'observation consciencieuse des faits conduit à l'appréciation rigoureuse des limites dans lesquelles l'eau et la glace ont séparément ou simultanément concouru à la production des terrains superficiels, des caractères propres aux alluvions et aux terrains erratiques; mais elle conduit aussi à faire voir que ces deux causes, réduites même à leur puissance actuelle, ont pu suffire pour produire à une autre époque les effets que je viens de noter, et sans qu'il soit besoin, pour les expliquer, de les attribuer à ces inondations extraordinaires, dont les traces ne se retrouvent nulle part.

5 Novembre 1851.

IV.

MORAINE PROFONDE DU GLACIER DE L'AAR.

La nappe de sables et de galets qui s'étend, à partir du glacier de l'Aar, jusqu'au pont de l'Aar-Boden, et qu'on retrouve dans les cirques du Grimsel, de Roeterischboden, dans le haut de la vallée, à Im-Grund, à la sortie de la gorge du Hasli, de Meyringen au lac de Brienz, entre ce dernier bassin et le lac de Thun, et de Thun presque sans interruption jusque dans la vallée du Rhin, est évidemment, soit un dépôt erratique, soit une accumulation de matériaux transportés par des courants diluviens.

J'ai déjà eu occasion d'exposer les motifs qui m'avaient déterminé à considérer cette nappe comme la moraine profonde de l'ancien glacier de l'Aar et de ses nombreux affluents, et je me serais

dispensé de revenir encore sur ce chapitre, si, dans les objections qui se sont produites, on ne m'avait opposé des faits que j'ai inutilement cherché à constater sur les lieux.

Le glacier de l'Aar repose et marche sur une moraine profonde; c'est un fait qu'on ne saurait nier.

Cette moraine se prolonge en avant du glacier et forme une nappe réglée longitudinalement et transversalement, sans interruption, jusqu'au pont de l'Aar-Boden; elle constitue un plan incliné sur lequel le glacier revient graduellement par des envahissements successifs.

Ainsi que je l'ai dit, cette moraine profonde ne s'est établie que dans les cirques, dans les fonds des bassins ou des vallées convenablement disposés comme on le voit entre le cirque du Grimsel et Røeterischboden (*Pl. 5, fig. 5*), à la Handeck, à la sortie de la gorge du Hasli, etc., etc., et elle n'a pu se fixer et persister ni dans les défilés, sur les pentes très-inclinées, ni dans tous les passages où l'on rencontre de coupures abruptes et des rochers escarpés.

Cette moraine est cependant encore, pour plusieurs de mes confrères, un dépôt diluvien, formé soit avant l'époque de l'extension des anciens glaciers, soit postérieurement et au moment où ces glaciers, en se retirant plus ou moins subitement, ont dû donner naissance à des courants violents, entraînant dans les vallées les débris erratiques préparés à l'avance pendant un très-long espace de temps.

A ces théories, j'ai répondu par des considérations que je vais analyser sommairement.

Les déjections des rivières et des torrents ne constituent jamais des nappes réglées horizontalement et longitudinalement comme le sont les moraines profondes; elles forment des accumulations ayant la forme de cônes plus ou moins allongés et déprimés.

Les moraines profondes offrent dans toute leur masse des matériaux erratiques, ayant des caractères que l'eau n'imprime jamais aux galets roulés, mais qu'elle détruit.

Dans les déjections alluviennes, les matériaux sont confusément entassés, et lorsque l'on examine un cône produit par un torrent, on voit un mélange irrégulier des galets entraînés par tous les affluents jusque dans le goulot d'écoulement.

Dans les moraines profondes, les galets sont disposés en traînées parallèles suivant l'axe des bassins; à la rencontre de deux vallées d'égale étendue, les dépôts sortant de l'une et de l'autre sont juxta-posés et parallèlement disposés.

Dans les déjections alluviennes, tous les matériaux sont roulés et tendent à prendre la forme sphéroïdale, plus ou moins parfaite, à laquelle parviennent les galets qui ont été charriés pendant un assez long trajet dans les cours d'eau.

Dans les moraines profondes, on rencontre des galets arrondis à l'origine des vallées aussi bien qu'à de grandes distances, et ces galets sont associés

à des débris de roches qui offrent à peine quelques traces de frottements, à des galets anguleux et polis et quelquefois même à des galets striés.

Enfin dans les déjections des rivières et des torrents, les matériaux sont disposés par ordre de grosseur, les plus volumineux étant rangés dans l'axe ou suivant le courant principal; dans les moraines profondes, on ne remarque aucune trace d'un transport plus violent sur un point quelconque, aucun triage par ordre de pesanteur, etc.; les matériaux transportés dans les eaux sont usés et lavés, tandis que dans les moraines profondes, aussi bien que dans les moraines frontales et latérales, les galets sont empâtés dans les sables, enveloppés et enduits *de boue glaciaire* qu'on ne retrouve plus dans aucun des bancs de graviers formés ou remaniés par les eaux.

Les moraines profondes sont incessamment attaquées par les cours d'eau, et c'est sans doute pour cela qu'on a eu l'idée de leur attribuer une origine diluvienne; mais toujours, lorsque les deux causes agissent simultanément et concurremment, on peut saisir les différences caractéristiques de leurs effets.

Ainsi, sur le front d'un glacier, les déjections du torrent qui s'en échappe s'étalent sur la moraine profonde et forment un cône, que l'on ne saurait confondre ni avec la base sur laquelle il repose, ni avec les moraines frontales qu'il touche ou enveloppe quelquefois.

Cependant les galets charriés par le torrent sont

façonnés par le glacier, comme ceux des moraines voisines ; mais emportés par les eaux , ils s'usent , se corrodent , s'arrondissent , prennent le caractère des cailloux roulés ; de plus , ils sont entièrement dépouillés de l'enduit boueux qu'offrent les galets sous *le fond du lit même du torrent* , ce que l'on peut constater quand la voûte par laquelle il s'échappe une année vient à changer de place , ainsi que cela a lieu à chaque instant. Et en étudiant le dépôt dans lequel les eaux creusent leurs lits variables , jusqu'à une profondeur qui ne peut être dépassée en raison de la pente , de la force et de la vitesse des eaux , on reconnaît qu'elles agissent sur un terrain dont elles ont la force et la propriété de remanier une portion , mais qu'elles n'ont pas plus formé que les massifs granitiques sur lesquels l'Aar exerce journellement son action destructive.

A ces considérations générales , il ne sera peut-être pas inutile aujourd'hui d'ajouter quelques détails , quelques observations , qu'avant de répondre , j'ai cru devoir aller recueillir et vérifier de nouveau dans les Alpes.

Il n'était pas possible de faire de la moraine profonde de l'ancien glacier de l'Aar un dépôt récent , puisqu'il sert *de base* aux moraines frontales d'Im-Grund et de Rœterischboden , puisque du pont de l'Aar-Boden , il se prolonge sous le glacier actuel en passant sous sa moraine frontale.

Aussi pour tourner la difficulté , on en a fait un comblement diluvien inférieur aux formations erra-

tiques, et par conséquent antérieur à l'époque d'extension des anciens glaciers.

L'auteur de cette classification des terrains superficiels en deux grandes divisions, comprenant, à la partie inférieure de l'échelle, des formations diluviennes produites par des courants plus ou moins violents, et, à la partie supérieure, les dépôts erratiques glaciaires, avait sans doute des motifs sérieux et des preuves à fournir à l'appui de sa nouvelle théorie; mais jusqu'ici, je ne crois pas qu'il se soit mis en mesure de les faire connaître.

J'ai pensé que ces preuves devaient naturellement se rencontrer dans le voisinage des glaciers, et dans les contrées où les eaux exécutent journellement des travaux considérables : aussi, je me suis mis en mesure de les rechercher, et je vais consigner dans cette note les résultats principaux de mes investigations.

On a fait un premier progrès au moment où l'on a cessé de croire à la disparition subite des anciens glaciers, et à la production de courants boueux et puissants à l'époque de leur retraite qui, sans nul doute, s'est effectuée progressivement et avec une grande lenteur. Les moraines frontales, restées debout à l'issue des grandes vallées et à des distances considérables des glaciers actuels, en fournissent une preuve évidente; on n'a donc plus à discuter la valeur de cette première hypothèse.

Mais, avant le moment où la plus grande partie de la terre a été enveloppée d'un manteau de glace,

s'il est vrai que des courants diluviens ont parcouru les vallées, comme on l'assure, il serait fort intéressant de rechercher et de faire connaître les causes mystérieuses de ces inondations extraordinaires

Si l'on admet que le comblement de la partie inférieure de la vallée de l'Aar soit un de ces dépôts diluviens, on devra admettre en même temps que toutes ces accumulations de galets, jusqu'aux limites les plus élevées du bassin, appartiennent à la même formation. Il le faudra, puisque la nappe est identiquement disposée ou composée sur tous les points où on peut l'observer. Le glacier reposerait donc sur un terrain diluvien.

Cependant les faits ne semblent pas confirmer cette hypothèse, et en effet; on sait que les rochers à surfaces polies et striées exposées à l'action des courants, et surtout des courants chargés de sables et de galets, perdent promptement leurs stries, et qu'ils se recouvrent de sillons irréguliers, de cavités circulaires, etc.; or, on voit près du pont de l'Aar-Boden, sur la rive gauche, un rocher dont la surface offre l'empreinte irrécusable du poli et des stries glaciaires. Cette surface est inclinée vers l'amont, *plonge sous la nappe des sables et des galets* au point même où cette nappe va cesser, un peu à l'amont de la gorge qui sépare le cirque du Grimsel de celui de l'Aar-Boden (*Pl. 5, fig. 1*).

La vallée est fort rétrécie en cet endroit; le canal par lequel les eaux s'écoulent n'a pas plus de 10 à 12 mètres de largeur; ses bords sont taillés

verticalement dans des rochers offrant une sorte de clivage suivant des plans verticaux et parallèles à la direction du cours d'eau ; et l'on voit, à en juger par les débris récemment détachés, que la section du lit de l'Aar s'est successivement élargie ; mais pour éviter de compliquer les difficultés, on peut admettre qu'à *l'époque diluvienne*, cette section était à peu près ce qu'elle est aujourd'hui.

C'est par cette coupure que le courant a dû successivement passer, en entraînant tous les matériaux entassés dans les cirques inférieurs ; sa vitesse devait être très-grande dans cet étranglement subit, et si l'on tient compte de l'immense quantité et du volume des débris charriés, on doit estimer que sa force devait être considérable.

Les rochers situés à la tête de ce premier canal, exposés à l'action directe d'un torrent animé d'une grande vitesse et chargé de matériaux, devraient présenter des traces visibles d'érosions, d'autant plus profondes, que la cause du transport a eu certainement une longue durée.

Et cependant, non-seulement ces traces de l'action des eaux n'existent pas, mais on retrouve, en fouillant la nappe de galets sous laquelle plonge la surface du rocher, *le poli et les stries glaciaires*.

De plus, on voit au niveau actuel des eaux de l'Aar des rochers anguleux ou à peine corrodés et des masses moutonnées et polies par le glacier à droite et à gauche du canal, et dont la présence ne permet pas d'admettre à une époque quelconque

un courant sensiblement plus fort et plus violent que le torrent actuel.

L'existence d'une surface striée sous la nappe de galets prouve évidemment que la formation du comblement n'a pas précédé l'époque glaciaire; et la conservation des stries n'indique pas moins clairement que, postérieurement, il n'y a pas eu de débâcles diluviennes, et qu'enfin le polissage des rochers, le transport et le dépôt des galets ont eu lieu instantanément et sous l'influence d'une cause unique, sur la nature de laquelle les stries ne permettent pas le moindre doute.

La surface de la nappe du cirque supérieur de la vallée serait donc d'origine erratique, une moraine profonde; mais on pourrait m'objecter encore que, sous cette première couche superficielle, on doit rencontrer le comblement diluvien formé en premier lieu.

En prenant note de cette première concession, on devra conclure que les glaciers se sont avancés jusqu'aux moraines frontales les plus éloignées des montagnes, jusqu'aux rochers striés de Soleure, au moins pour le bassin de l'Aar; et qu'au delà de cette limite arbitrairement fixée, on ne doit plus trouver que des dépôts diluviens.

Mais, je l'ai déjà dit, les moraines profondes admises ne diffèrent en aucune façon des moraines profondes contestées, le comblement, dans toutes les parties du bassin et jusque dans la vallée du *Rhin*, au-dessous de Bâle, offre les mêmes caractères,

et surtout une distribution régulière des matériaux dont il se compose, et il devient impossible de déterminer une limite séparative entre le terrain erratique et le terrain réputé diluvien, et c'est précisément pour ce motif que j'ai réuni et compris sous la même dénomination toutes les parties absolument semblables des comblements.

Si l'on examine ensuite les coupes pratiquées dans les dépôts inférieurs des vallées, et si l'on cherche à reconnaître deux étages d'origine différente, superposés et offrant des caractères tranchés, on ne parvient pas à un résultat plus satisfaisant; nulle part on n'aperçoit de séparation, et l'on est forcé de reconnaître que le comblement, constitué par des accumulations successives, forme une seule et même masse, dans toutes les parties de laquelle on retrouve indistinctement les mêmes dispositions, les traces évidentes d'une seule et même cause.

Et les conclusions naturelles de ces observations sont celles-ci :

La surface du comblement à l'amont et à l'aval des moraines frontales anciennes les plus avancées étant identique, et offrant les mêmes caractères, appartient à un même ordre de dépôts;

Cette surface à l'amont étant une moraine profonde, doit conserver à l'aval la même dénomination;

Et de plus, la surface se liant, sans intermédiaire et sans modifications, dans la distribution des matériaux, dans leurs formes caractéristiques, à la

masse entière du comblement, cette masse fait partie de la moraine profonde.

Mais cependant, on pourra encore m'opposer une autre objection que je dois prévoir, et à laquelle je ne puis faire une réponse catégorique. Les nappes superficielles n'ont peut-être pas été fouillées à d'assez grandes profondeurs, et il serait possible qu'un terrain diluvien ancien fût caché sous une couche erratique plus ou moins puissante?

J'avoue que je n'en sais absolument rien : mais, ou ce prétendu terrain diluvien ressemble à celui de la plaine d'Alsace, et, dans ce cas, il offre tous les caractères des dépôts erratiques; ou bien il en diffère entièrement; sa puissance et ses caractères sont également inconnus; et je pense qu'il sera grandement temps de s'en occuper quand on sera parvenu à le trouver, à le faire voir, et à fournir une première, une seule preuve.

La moraine profonde du premier cirque, entre le glacier et le pont de l'Aar-Boden, malgré les bouleversements que les eaux ont causés et produisent à sa surface, conserve encore parfaitement le nivellement régulier que les glaciers seuls peuvent imprimer aux dépôts meubles qui les supportent. J'y ai fait faire diverses fouilles, et partout j'ai trouvé des galets anguleux associés à des cailloux roulés, et toujours, mêlé aux matériaux du comblement, le *lehm* ou la *boue glaciaire* que les eaux font disparaître et enlèvent dans toutes les parties de la nappe qu'elles ont fouillées ou remaniées.

Cette nappe n'éprouve ni renflements ni dépressions, près des rochers qui se relèvent à sa surface, sur la gauche du bassin. Et ces rochers qui portent des traces évidentes de l'action glaciaire n'offrent pas les moindres indices de l'action des eaux, quoique cependant le comblement les enveloppe et s'applique contre leurs parois inférieures.

Aux chalets de l'hospice, le rocher qui se relève au-dessus du niveau de la nappe, est poli et strié à l'amont; latéralement il offre un plan presque vertical à surface rugueuse et écaillée que le glacier n'a pas touchée, l'angle d'amont du massif lui ayant fait éprouver une déviation. (*Pl. 5, fig. 2.*)

Les galets du comblement enveloppent ce rocher et forment un plan paraissant de niveau sur tout son pourtour; et, malgré ce contact, la surface rugueuse plonge sous la nappe sans altération; les angles aigus des écaillés sont aussi vifs au-dessous qu'au-dessus du comblement; très-certainement, s'il y avait eu transport par les eaux de toute la masse des galets, ou seulement de la couche superficielle, on apercevrait des traces d'usure, des sillons horizontaux ou peu inclinés marquant les élévations graduelles dans le niveau des eaux et de leurs déjections. Au pied même du rocher, on voit un ancien lit d'une des plus petites branches de l'Aar qui, en se creusant un passage, n'a pas déplacé les galets appliqués contre la paroi verticale et ne l'a pas corrodée.

Au second massif de rochers, la surface latérale,

comme celle d'amont, est polie et striée, et les stries persistent sous la nappe sans altérations. L'action des eaux, ici, est donc secondaire, elle se révèle par le désordre qu'elle cause dans la distribution du terrain erratique, mais évidemment elle n'a pas produit le comblement sous lequel les traces du travail de l'ancien glacier sont encore visibles et incontestables.

En parcourant la vallée de l'Ober-Hasli, on peut, à chaque pas, étudier les effets produits par les courants et par la glace, et apprécier à leur juste valeur les théories que l'on a inutilement imaginées pour rendre compte des faits qui s'expliquent et se révèlent pour ainsi dire d'eux-mêmes. Aussi, après une course de quelques heures, on ne comprend pas que des esprits sérieux puissent encore attribuer aux comblements une origine diluvienne.

Les torrents faibles ou violents forment des cônes de déjection qui s'étalent et reposent toujours sur les nappes profondes; leurs goulots d'écoulement débouchant à diverses hauteurs au-dessus du fond des vallées, leurs déjections s'établissent nécessairement à différents niveaux. Les pentes des cônes varient aussi en raison de la vitesse des courants, de la nature et du volume des matériaux. Que le bassin de Brienz, par exemple, finisse par être entièrement comblé par des déjections torrentielles: quel aspect présenterait alors la vallée? Quelle analogie pourrait-on trouver entre un amas de cônes entremêlés, constituant un comblement irrégulier

mamelonné, comprenant autant de dépôts distincts que de déjections, et la nappe aussi régulière dans les cirques élevés qu'à Im-Grund, Meyringen, etc. ?

A Meyringen surtout, à la sortie de la gorge du Kirchet, le plan incliné commence immédiatement et s'étale latéralement, en contournant sur la rive gauche le massif de rochers formant une pointe dans la vallée près du pont, pour se développer en remontant vers l'amont entre ce promontoire et le pied des escarpements qui dominent la vallée vers la gauche. Les cônes que les torrents jettent sur cette nappe nous offrent un exemple de ce qu'aurait produit un courant diluvien en sortant du bassin d'Im-Grund, qu'il aurait d'abord comblé, pour former ensuite un immense cône à l'amont de Meyringen jusqu'au lac de Brienz. (*Pl. 5, fig. 6.*)

Mais on me répondra peut-être qu'avant l'époque glaciaire le comblement était composé de cônes, et qu'il a ensuite été réglé par les anciens glaciers. Et, dans ce cas, je répéterais ce que j'ai dit ailleurs, qu'il faudrait admettre en même temps que toutes les nappes nivelées ont été soumises à la même cause, et par conséquent, l'extension des glaciers jusqu'aux extrémités des nappes les plus éloignées des Alpes.

Et puis, je demanderais en outre comment le glacier de l'Aar aurait enlevé une partie du comblement du bassin d'Im-Grund pour l'établir suivant la pente générale de la vallée; et surtout comment s'est effectué, au travers des lacs de Brienz et de Thun, le transport des matériaux de la partie

supérieure de la vallée, jusque dans la grande plaine du Rhin.

A l'égard des courants diluviens, des torrents violents auxquels on attribue le charriage des galets et des blocs, il est encore permis de conserver quelques doutes fondés sur l'observation même des vallées d'où les eaux seraient sorties.

M. Desor a remarqué, il y a longtemps, que la plupart des rochers de la chute de l'Aar à la Handeck étaient anguleux, d'où il est naturel de conclure qu'à aucune époque le volume des eaux et la masse des galets transportés n'ont été plus considérables qu'aujourd'hui; et évidemment dans un passage aussi resserré, un courant diluvien, assez puissant pour accumuler seulement les matériaux des nappes situées à l'amont du premier lac, aurait laissé sur ces rochers des traces profondes de son passage et de son action.

Cet exemple de ce que l'on observe à la Handeck se reproduit successivement sur divers points dans la vallée. Déjà au pont de l'Aar-Boden, on voit des rochers à angles à peine émoussés; dans les crevasses, au fond desquelles les eaux semblent se perdre, on voit presque toujours, au-dessus d'un niveau qu'elles ne dépassent pas, des surfaces non corrodées et des angles aigus sur les parois des rochers. Et les rochers calcaires, à l'amont d'Im-Grund, offrent les mêmes dispositions. (*Pl. 5, fig. 3.*)

Au-dessous de la ligne xy , qu'atteignent les plus hautes eaux de l'époque actuelle, on observe des

sillons, des cavités creusés par les eaux : mais au-dessus la surface rugueuse des rochers n'a subi aucune altération. En tête même du bassin, sous la moraine frontale, les rochers sont anguleux dans le goulot, et sur la rive droite le dépôt latéral lié intimement à cette moraine est rempli de galets *roulés* et arrondis, entièrement semblables à ceux du comblement. (*Pl. 5, fig. 4.*)

Dans toutes les vallées des Alpes on peut faire et vérifier les mêmes observations, et acquérir ainsi la conviction et la preuve qu'à aucune époque ces *hautes vallées* n'ont été parcourues par des courants sensiblement plus puissants que les cours d'eau actuels.

Au-dessus du niveau actuel des eaux, on voit cependant des traces de leur action exclusive : mais ces traces que l'on retrouve aussi dans le voisinage des glaciers, sur les rochers polis les plus élevés des montagnes bordant le bassin, prouvent encore l'intervention de la glace.

Le glacier occupant la haute vallée à l'amont de la Handeck, par exemple, ne pouvait se modeler sur tous les plis du terrain et combler toutes les crevasses. L'eau qui s'en échappait n'avait d'autre issue que par les coupures marquant le thalweg même et l'emplacement de la voûte du glacier ; leurs parois ne pouvaient donc être ni touchées ni frottées par la glace ; et comme les eaux, provenant des parties latérales, tendaient à revenir par la ligne de plus grande pente vers les couloirs où leur

écoulement était possible et forcé, il se produisait latéralement aussi des chutes et des érosions dont les emplacements sont marqués par de nombreux karren.

Chaque fois que j'ai eu occasion de parler du terrain erratique de la Suisse, j'ai toujours cherché à attribuer les faits observés aux causes d'où ils paraissaient dériver naturellement, et à déterminer les limites dans lesquelles l'eau et la glace avaient dû agir et concourir soit séparément, soit simultanément à la formation des dépôts superficiels. Et c'est précisément parce que j'ai constamment suivi la même marche que je me suis trouvé conduit à ne pouvoir croire à l'existence des courants diluviens.

Tous les faits, toutes les preuves sont contraires aux diverses théories qui se sont produites jusqu'ici, depuis les projections volcaniques de Deluc jusqu'aux radeaux de glace de Venturi, tandis qu'on arrive à des solutions qui ne viennent pas se heurter contre de grandes improbabilités physiques, chaque fois que l'on se contente d'étudier les causes et les lois naturelles.

Ainsi, pour donner une idée des écarts auxquels on est exposé quand on se laisse dominer par des idées préconçues, en terminant ces observations sommaires, je répondrai à une allégation produite contre mes premières notes sur la moraine profonde de l'ancien glacier de l'Aar, en me bornant à rétablir les faits.

Dans un essai sur le terrain erratique de la Suisse et des Vosges (1), j'ai donné un croquis de la partie de la moraine profonde placée entre les deux lacs de Brienz et de Thun et qui constitue la plaine d'Interlaken.

Cette plaine parfaitement nivelée est peu élevée au-dessus de la surface des eaux des deux lacs, et elle dessine, aux pieds des montagnes, une ligne qui semble être de niveau.

La lutschine, en sortant des gorges de Lauterbrunnen, loin de couper cette plaine, soit dans la direction de l'Aar, soit vers le bassin inférieur, en contournant le promontoire que forme le Klein-Rugen, se jette à l'amont d'Interlaken, dans le lac de Brienz, et coule au pied du massif du Kilchek.

La nappe, en face de la vallée de Lauterbrunnen, n'offre pas de renflement, et suit une ligne de pente non interrompue dans tous les enfoncements latéraux du bassin, elle n'a pas l'aspect d'un cône de déjection, et je l'avais comprise dans la masse du comblement de l'amont et de la partie inférieure de la vallée provenant de l'Ober-Hasli. L'examen des deltas de l'Aar, de la lutschine et de la Kander m'avait fourni, une fois de plus, l'occasion de comprendre les différences essentielles qui distinguent ces déjections alluviales, toujours de formes coniques, des nappes de comblement offrant des matériaux erratiques distribués par bandes parallèles; et dans

(1) *Coup d'œil sur le terrain erratique des Vosges*, 1848.

la vallée de Luterbrunnen, je n'avais pas rencontré de traces de grandes débâcles, à la suite desquelles un amas considérable d'alluvions serait venu séparer les deux lacs autrefois réunis.

Cependant il paraît que l'on considère encore l'isthme sur lequel Interlaken est bâti comme un dépôt de diluvium glaciaire transporté par la lutschine, quoique ce dépôt soit absolument le même que celui de la partie de la vallée inférieure comprise entre Thun et Berne, et que les torrents de Lauterbrunnen n'ont pu atteindre et combler, puisque le lac de Thun leur présentait un obstacle infranchissable.

J'ignore sur quelles observations cette opinion est fondée, et quelles preuves réelles de l'origine diluvienne de ce comblement on a recueillies; aussi ne puis-je aborder une discussion à cet égard: mais pour qu'il soit possible d'arriver à une solution, je vais rapporter, en terminant, des faits qui me paraissent concluants et sans réplique.

La nappe, comprise entre les deux lacs de Brienz et de Thun, est composée de sables et de galets offrant des traces évidentes de l'action glaciaire; et la partie supérieure est composée principalement de sables et de lehm, et le lehm est mêlé dans l'intérieur du dépôt avec divers matériaux qui le composent.

Sur divers points, et notamment à l'amont, sur les rives du lac supérieur, des attérissements continuent à se répandre à la surface des parties submersibles et marécageuses de la nappe, tandis

qu'elle est parfaitement plane jusqu'à Unterseen et jusque sur la rive gauche du lac de Thun et qu'elle offre, à droite entre Unterseen et Neuhaus, en face de la vallée de Habkeren, un renflement transversal; c'est que de cette vallée est sorti un torrent qui a étalé sur la nappe un cône assez déprimé qui a repoussé le cours de l'Aar vers la rive gauche de la vallée, tandis qu'à Unterseen il touche les escarpements de droite; mais ce cône offre tous les caractères d'une déjection torrentielle, d'une formation locale plus récente, et différant sous tous les rapports de la nappe de comblement d'Interlaken qui se rattache au comblement général de la vallée; et ces divers dépôts, inférieurs et supérieurs, anciens, récents ou actuels, offrent chacun des dispositions qui accusent dans leur production l'intervention de causes différentes.

Dans la nappe, la masse principale des galets provient de l'amont du lac ou de la haute vallée; sur la gauche, des matériaux provenant des vallées de Grindelwald et de Lauterbrunnen viennent s'y associer; ce qui prouve que l'ancien glacier de Lauterbrunnen venait se réunir au glacier de l'Aar, et au niveau même de la nappe, tandis que les glaciers des vallées latérales d'Urbache, de Rosenlani, en raison de la disposition du terrain, ne pouvaient pénétrer jusqu'au fond du bassin et marchaient latéralement à une hauteur indiquée par les escarpements du Reichenbach, de la gauche d'Im-Hoff, etc., etc.

Enfin, dans la nappe d'Interlacken même (aussi bien qu'à l'aval de Thun), on rencontre, associés aux galets calcaires des montagnes bordant le bassin depuis Guttannen, des *galets granitiques* provenant des massifs de la haute vallée.

Si donc on persistait à dire que le dépôt dont il s'agit est une déjection diluvienne formée par la lutschine, je demanderais comment, et par quelle voie, la lutschine, dont le bassin est parfaitement séparé, a pu rejeter à Interlacken, et de Thun jusque dans la vallée du Rhin des galets détachés, des roches granitiques des cirques de l'Ober-Aar, de l'Unter-Aar et du Grimsel, et leur faire franchir les deux lacs ?

Le terrain erratique se produit encore journellement sous nos yeux ; des dépôts alluvien se forment sans cesse, et leur étude nous révèle l'origine des formations superficielles d'une époque antérieure ; les glaciers en activité nous font voir comment s'est opéré le transport des blocs erratiques ; comment se sont élevées les anciennes moraines frontales ; les torrents et les rivières exécutent des remblais ayant toujours un cachet particulier ; mais nulle part on n'a rencontré jusqu'ici et on ne rencontrera pas une seule de ces nappes nivelées, exclusivement formée par un courant et offrant les caractères des dépôts inférieurs que j'ai considérés comme les moraines profondes des anciens glaciers

Le 8 Octobre 1851.

V.

OBSERVATION SUR LA COUPE DE L'ALLÉE BLANCHE DONNÉE PAR M. ED. COLLOMB.

Les moraines profondes, suivant M. Ed. Collomb, sont des dépôts *diluviens* formés avant l'époque glaciaire, et sur lesquels les moraines frontales anciennes des Vosges, ainsi que celles des glaciers actuels, reposent sans intermédiaire.

A l'appui de son système, il a donné récemment dans le *Bulletin de la Société géologique*, tome VIII, 2^e série, pl. 2, une coupe d'une vallée des Vosges et de la plaine du Rhin et deux autres croquis destinés à expliquer les phénomènes glaciaires anciens et actuels.

Dans ces coupes on voit clairement la formation inférieure de comblement, *le diluvium*, recouvert

par les moraines anciennes ou en voie de formation; superposition évidente que l'on ne saurait nier ni méconnaître, et que j'ai constatée aussi, en substituant la dénomination de moraine profonde à celle de *diluvium* improprement appliquée au membre inférieur du dépôt.

Sur la même planche, se trouve une *coupe en long dans la vallée de l'allée Blanche*, avec cette indication : *Observations de M. Ed. Collomb, sur le mémoire de M. Hogard* : observations sans doute relatives à un travail que j'avais adressé à la Société géologique et qui lui a été communiqué le 16 décembre 1850, quoique la planche dont il s'agit soit annexée au procès-verbal de la séance du 2 décembre, et ait précédé de beaucoup la publication de mon mémoire.

L'auteur n'ayant pas cru devoir me donner occasion de me défendre et de lui répondre, s'est abstenu de joindre une explication écrite à cette coupe, dont je veux cependant dire quelques mots aujourd'hui.

Le mémoire que j'avais présenté à la Société a pour titre : *Observations sur le terrain erratique du bassin du Rhin, entre Bâle et Coblençe*, et pour objet de démontrer que le comblement de ce bassin ne saurait être considéré comme un dépôt exécuté par les eaux (1).

Quels rapports M. Collomb a-t-il vus entre le

(1) N^o 1, p. 1^{re} de ce recueil.

terrain de la plaine d'Alsace et le comblement de l'Allée-Blanche, dont je n'avais pas dit un mot ? Je l'ignore et je ne saurais le deviner. Cependant la coupe qu'il a donnée, et dont j'ai essayé de reproduire un *fac simile*, peut faire supposer qu'il considère le bassin du Rhin comme un ancien lac comblé par des attérissements et des dépôts diluviens successifs, dans des circonstances sans doute analogues à celles qu'il a observées entre le col de la Seigne et la moraine latérale droite du glacier de la Brenva.

En effet, dans sa coupe on voit, entre ce col et une ancienne moraine, un lac autrefois comblé *horizontalement* par un dépôt qui *s'appuie contre* cette ancienne moraine frontale et en *recouvre* le pied ;

Le lac Combal partiellement comblé à l'amont et que les attérissements finiront par remplir entièrement et *parallèlement à la surface de l'eau* ;

Enfin un comblement *horizontal*, au lieu dit *l'Allée-Blanche*, entre la moraine latérale gauche du glacier du Miage et la moraine latérale droite du glacier de la Brenva que le comblement *touche et recouvre partiellement*.

A l'opinion de M. Collomb, il me suffirait d'opposer une coupe indiquant les relations réelles des divers dépôts de cette vallée, et d'attendre que de nouvelles observations vissent confirmer mes assertions ou les détruire ; mais cependant je crois devoir signaler en passant quelques-unes des contra-

dictions que l'on remarque entre les diverses figures réunies sur la feuille de coupes publiées par M. Collomb.

Entre les Vosges et la Forêt-Noire, l'auteur indique, sur les surfaces inégales des terrains anciens, une formation inférieure d'origine des Alpes et antérieure aux anciens glaciers : c'est le diluvium alpin, ce sont les alluvions anciennes, le terrain quaternaire inférieur, le terrain erratique de divers auteurs.

Ce dépôt est recouvert par une formation moyenne d'origine des Vosges, sur la rive gauche du Rhin, et de la Forêt-Noire sur la rive droite.

Enfin le dernier terme de la série comprend une formation supérieure, lehm ou lœss dans la plaine, moraines dans la montagne. Et, d'après la manière de voir de M. Collomb, l'instant de l'apparition des anciens glaciers dans nos contrées se trouverait fixé à une époque géologique très-récente, après tous les phénomènes qui ont donné lieu aux grands transports de matériaux meubles dont se composent les comblements inférieurs.

Les coupes qu'il a produites représentent graphiquement le même ordre de superposition, les mêmes relations.

Mais il paraîtrait qu'au pied du Mont-Blanc, les phénomènes ne se seraient pas produits dans les mêmes conditions et n'auraient pas eu les mêmes résultats. En effet, l'ancienne moraine, à l'amont du lac Combal, ainsi que les moraines actuelles

des deux glaciers du Miage et de la Brenva, reposeraient, d'après sa coupe, sans intermédiaire sur les anciens terrains, tandis que, dans les Vosges et dans d'autres parties de la Suisse, au glacier de l'Ober-Aar, dont il donne un croquis, les moraines actuelles s'étalent sur un comblement antérieur qui forme toujours leurs bases; les comblements que l'on observe dans l'Allée-Blanche seraient même très-récents, puisqu'ils recouvrent les pieds d'une ancienne moraine et même des moraines actuelles.

Ici le comblement inférieur est supprimé; et cependant au-dessous du glacier de la Brenva, dans le Val-Ferret, et enfin sur tous les points, en suivant la Doire jusque dans la grande vallée du Pô, ce comblement existe, aussi bien sous les immenses moraines frontales que sous les moraines qui barrent la vallée près d'Entrèves; et cependant encore c'est ce même comblement, ayant les mêmes caractères et la même origine qui s'observe entre les glaciers de la Brenva et du Miage, et dans le Boden supérieur au pied du col de la Seigne.

On le voit donc, la théorie qu'on m'objecte varie suivant les besoins et les circonstances, et les relations indiquées sur la première coupe sont entièrement renversées dans la dernière.

Lorsque des observations écrites seront publiées, il me sera seulement possible de continuer la discussion à cet égard; je me bornerai aujourd'hui à donner l'explication du croquis que je joins à cette note sommaire.

Le comblement de la vallée de la Doire se retrouve dans l'Allée-Blanche jusque dans le bassin situé sous le col de la Seigne. A l'entrée du val Ferret, il est recouvert par une ancienne moraine frontale à plusieurs étages, et s'il offre quelques lacunes, c'est dans les passages où les pentes sont trop abruptes, comme cela a lieu probablement sous une partie du glacier de la Brenva, et à l'amont du lac Combal, sous les chalets. Les moraines frontales des deux glaciers qui descendent dans la vallée s'étalent sur ce comblement.

La moraine latérale droite du glacier de la Brenva repose sur une nappe de sables et de galets, réglée transversalement et longitudinalement, mais formant un plan incliné, sur laquelle ce glacier déborde de nouveau par suite d'un récent envahissement. Cette moraine ne barre pas entièrement la vallée, et la Doire peut s'écouler sous le glacier. A une époque éloignée, il est probable que cet écoulement a été incomplet, et qu'une partie de la nappe a été inondée; des dépôts de sables mêlés de lehm sembleraient l'indiquer.

Le lac Combal est comblé en partie, et les atterrissements continuant journellement à se produire, il est probable que le bassin finira par se remplir entièrement. A l'amont un cône de déjection, très-peu incliné, s'étale et s'enfonce sous le lac. Il est formé par les matériaux entraînés du bassin supérieur par un ruisseau torrentueux et par les débris rejetés par deux petits glaciers, et principalement

par celui de la Chenalette qui vient toucher ce cône et ajoute ses moraines frontales et latérales aux déjections du torrent.

L'ancienne moraine des chalets domine un escarpement, *et ne touche pas le comblement du lac*, comme M. Collomb l'a figuré, elle recouvre une nappe inclinée de galets, à la surface de laquelle on observe des dépôts vaseux de lehm et de sables, dûs à des alluvions; mais cette nappe n'est pas postérieure et supérieure à cette ancienne moraine.

Les moraines frontales de glaciers suspendus viennent latéralement s'étaler, sous forme de cônes d'éboulement, sur le comblement inférieur, *toujours inférieur* aux moraines latérales et frontales, aussi bien qu'aux *alluvions* et aux déjections torrentielles.

Enfin dans l'Allée-Blanche, on voit ce qu'on observe toujours et partout,

1° Un comblement ancien, que j'ai appelé moraine profonde, parce qu'il renferme des matériaux erratiques mêlés à *la boue glaciaire* : dépôt dont j'ai déjà tant de fois indiqué les caractères et cherché à démontrer l'origine que le lehm et les galets erratiques révèlent incontestablement ;

2° Des moraines anciennes; des moraines modernes et des moraines actuelles ayant diverses formes ;

3° Un cône de déjection formé de débris arrachés par les eaux aux anciens dépôts erratiques ou rejetés par le glacier de Chenalette à l'amont du lac

Combal, qui se remplira à mesure que le cône s'allongera, et que les dépôts vaseux de sables et de lehm se développeront dans le fond du bassin et contre la moraine latérale droite du glacier du Miage;

4° Enfin quelques attérissements ou alluvions sur une partie des nappes profondes. C'est-à-dire les divers dépôts formés avec le concours de l'eau et de la glace, toujours distincts et nettement séparés, et sur la nature et l'origine desquels on peut d'autant moins se tromper que les deux causes agissent simultanément, en imprimant aux effets qu'elles produisent des caractères invariables et parfaitement tranchés.

En indiquant dans ma coupe les superpositions réelles des dépôts, et en m'abstenant d'y rien changer dans l'intérêt de la cause que je m'efforce de défendre, je n'aurai pas à craindre une objection de la nature de celles que je formule dans cette note, et que l'on parvienne à prouver que les moraines anciennes du val Ferret, et actuelles des glaciers de la Brenva et du Miage, sont recouvertes partiellement par le comblement (alluvien ou diluvien) de la vallée, puisque partout, dans les hautes vallées, aussi bien qu'au pied des Alpes, dans la plaine de Turin, ces barrages sont superposés à ce comblement erratique, que jamais on ne parviendra à assimiler au dépôt alluvien du lac Combal.

Et cependant ce dernier dépôt est constitué par

des matériaux erratiques ; les galets anguleux rejetés par les glaciers sont associés au lehm et aux galets arrondis et polis ; mais la forme de la déjection, l'arrangement de ses matériaux révèlent l'intervention de l'eau ; puis, attendu qu'il va s'appuyer contre une moraine actuelle et en recouvrir le pied, il diffère essentiellement de *ces nappes profondes qui supportent toutes les moraines aussi bien que tous les dépôts alluviens, anciens et actuels.*

Le 9 Juillet 1851.

VI.

COMBLEMENT ET DÉPOTS ERRATIQUES DU BASSIN DU PO.

Les anciens glaciers des Alpes n'ont pas été confinés dans les hautes régions, comme on le croyait autrefois, mais ils se sont répandus hors de l'enceinte des montagnes, jusqu'aux limites extrêmes des nappes erratiques qui occupent le fond d'un grand nombre de vallées.

Dans le bassin du Pô, la nappe erratique constitue une immense plaine arrosée par ce fleuve et par ses nombreux affluents qui, tous, ont ouvert et creusé leurs lits dans le comblement jusqu'à l'Adriatique. Tous les faits que j'ai observés dans la distribution et dans l'arrangement des matériaux de la plaine du Rhin s'y représentent identiquement, sur une plus grande échelle, et suffiraient pour

indiquer le concours de la glace dans le transport et le nivellement des éléments de ce vaste dépôt, si l'action glaciaire, sur diverses parties de la nappe, n'était marquée de la manière la plus évidente par les moraines frontales et les blocs erratiques, observés par MM. Martins et Gastaldi à la sortie des vallées des deux Doires, et jusque sur la colline de Turin (1).

Cependant, mes deux confrères, tout en admettant, comme je l'avais précédemment indiqué dans les vallées de la Suisse, et bien loin des glaciers actuels, une moraine profonde à la surface de la nappe de comblement et jusqu'aux moraines frontales d'Ivrée et de Rivoli, considèrent encore la partie inférieure du dépôt et son prolongement dans la vallée du Pô, comme un terrain diluvien inférieur aux formations erratiques, et par conséquent d'une époque antérieure. Aussi est-ce à l'égard de cette dernière question surtout que je viens soumettre quelques observations à leur examen et à leur appréciation, et exposer les faits et les considérations qui m'ont déterminé à regarder la masse entière du comblement comme une formation *d'origine glaciaire*.

Les derniers contreforts des Alpes se terminent brusquement à la limite de la plaine, dont la surface paraît être parfaitement de niveau, et qui

(1) *Essai sur les terrains superficiels de la vallée du Pô.*
Bulletin de la Société géologique de France, t. VII, p. 554.

forme un plan régulier légèrement incliné vers la colline de Turin. En examinant plusieurs croquis recueillis sur les lieux, il y a bien longtemps, par un dessinateur qui n'était pas plus géologue que glacialiste, j'avais remarqué avec un vif intérêt la régularité de cette plaine, et surtout les mamelons situés au débouché de la vallée de la Dora-Ripaira, entre Rivoli et le massif du Musinet, et qui paraissent barrer transversalement le cours de cette rivière, et offrir les dispositions propres aux moraines frontales. Mais ce qui m'avait frappé surtout, c'est qu'on n'apercevait aucune trace d'ondulations transversales ou longitudinales de la surface de la plaine, évidemment dessinée telle qu'on la voit réellement depuis le sommet de la colline de Turin.

Mes deux confrères cependant pensent que cette surface est due à la réunion de cônes de déjection sortant des vallées, et que, de ce point même, l'œil distingue au débouché de celles de la Stura, de l'Orco et de la Dora-Ripaira; ces cônes révéleraient donc le mode de formation et l'origine de la grande plaine qui s'étend au pied du versant méridional des Alpes, et dont la surface régulière, en apparence, ne se raccorderait pourtant pas à un seul et même plan incliné, comme on le croirait à la première vue.

Ce que j'avais observé dans les comblements des grandes vallées du Rhin, du Rhône, de l'Aar, ne pouvait manquer de me laisser des doutes à cet

égard , et de me faire comprendre la nécessité de visiter le bassin du Pô , pour étudier cet immense comblement , et de rechercher s'il offrait les caractères d'une formation alluviale, et une distribution et des relations différentes de celles qu'affectent , sans exception , les nappes dont je m'étais plus particulièrement occupé jusqu'ici ; et je me suis mis immédiatement en mesure d'aller sur les lieux , vérifier les faits et recueillir les observations dont j'avais besoin pour adopter ou discuter l'opinion émise par mes confrères.

Du sommet de la colline de Turin , et de tous les points depuis lesquels j'ai pu examiner le bassin du Pô , le comblement général m'a paru former un grand plan incliné d'une parfaite régularité , se dessinant au pied des Alpes , comme se dessinerait la surface unie d'un lac.

De plusieurs vallées sortent des torrents qui ont étalé autrefois ou qui continuent à jeter leurs cônes de déjection sur la surface de ce plan , et à exécuter, en saillie , des remblais différant , sous tous les rapports du comblement qui les supporte. Les limites de ces cônes , dessinées sur la carte de l'état-major piémontais , sont toujours parfaitement visibles.

Deux ou plusieurs cônes peuvent se réunir et se toucher latéralement et constituer des accumulations ondulées assez considérables ; et , dans ce cas , on pourrait supposer que la plaine est réellement la réunion des déjections produites par les nombreux cours

d'eau qui viennent se jeter dans le fleuve. Mais en suivant le versant des Alpes, on rencontre à chaque instant, entre deux cours d'eau et au pied même des montagnes, de vastes champs de galets parfaitement nivelés, dont la surface se raccorde exactement à celle de la plaine, en passant sous les alluvions des torrents toujours distribuées sur le plan incliné du bassin, comme les moraines frontales, les blocs et le terrain éparpillé. (*Pl. 7, fig. 1.*)

Cette superposition que l'on observe d'ailleurs dans toute l'étendue du système des Alpes est parfaitement évidente, et suffirait pour motiver, entre ces diverses parties du comblement, une distinction et une séparation, que l'on peut toujours comprendre, et dont la coupe (*Fig. 2*), même planche, fournit une épreuve incontestable.

Les arêtes supérieures des deux cônes *A* et *B* forment sur la surface de la nappe des angles plus ou moins inclinés, suivant la puissance des déjections, relevées à partir de leurs bases dans la direction des goulots d'écoulement; mais elles ne viennent ni se toucher ni se confondre : dans l'intervalle qui les sépare, le comblement conserve son apparente horizontalité, tandis qu'il offrirait, comme dans la *fig. 3*, une dépression marquée par la rencontre des surfaces courbes, s'il faisait partie des déjections torrentielles.

De Rivoli à Turin, et sur à peu près moitié de la distance, le terrain est ondulé, et offre en dessus du plan incliné quelques renflements qui de loin

ressemblent à un grand cône sortant de la vallée de la Dora-Ripaira : mais ce sont les premières rides concentriques formées par le glacier en avant de la grande moraine frontale placée au débouché de la vallée et à laquelle elles se lient intimement.

Au delà de Rivoli jusqu'à la moraine qui, de Rosta, se dirige vers Alpignano, et plus loin encore, au delà d'Avigliana, la moraine profonde se raccorde au plan incliné qui descend vers le Pô, comme je l'ai indiqué sur la coupe longitudinale et sur le croquis. (*Fig. 4 et fig. 5.*)

S'il y avait eu un cône de déjection au sortir de la vallée, et surtout une déjection diluvienne plus ancienne que les moraines, on devrait en retrouver encore des traces certaines. Le glacier en s'avancant sur ce cône aurait formé une moraine profonde, soit à surface courbe et parallèle à celle de sa base, soit à surface plane, et ayant à chacune de ses extrémités une plus grande épaisseur que dans le milieu suivant l'arête du cône.

Cette moraine *c*, quelle que soit sa puissance et son inclinaison, formerait une saillie et une nouvelle nappe dont le prolongement *b* (*Fig. 6*) passerait au-dessus du plan incliné *a a*, si elle avait une pente moins forte ou viendrait le couper sans angle plus ou moins prononcé dans le cas indiqué (*Fig. 7*), et il y aurait nécessairement une séparation marquée entre les deux dépôts.

Cependant en examinant la coupe du terrain compris entre Avigliana et le pied de la colline de

Turin (*Fig. 4*), on voit clairement qu'entre les deux points extrêmes la moraine profonde et le surplus du comblement suivent la même ligne de pente et se raccordent exactement à un même plan et non à la surface courbe d'un cône de déjection.

La moraine profonde ayant une certaine épaisseur, il faudrait admettre qu'elle remplit une dépression ouverte par une cause quelconque au sommet du cône et que sa surface s'est réglée exactement suivant la pente de la déjection diluvienne, comme on le voit d'Avigliana à Turin, etc., et de l'amont d'Ivrée à Cressentino, puisque la continuité du plan de la nappe de comblement, à l'amont et à l'aval des moraines frontales des deux Doires, est *un fait évident*. (*Fig. 4 et fig. 15.*)

Cette continuité de la ligne de pente s'observe encore à l'amont d'Ivrée, quoique la vallée de la Dora-Baltea soit en quelque sorte fermée entre Pavone et Chiaverano par une série de petites collines, sur lesquelles on retrouve des stries glaciaires : disposition dont j'ai déjà eu occasion de citer plusieurs exemples (1), et qu'un torrent n'aurait pas produite.

La Doire extraordinairement gonflée aurait exécuté des affouillements aux pieds de ces collines, et à la sortie du défilé d'Ivrée aurait amoncelé ses déjections dans la direction de Tina et d'Albiano ; et si l'on voulait voir, dans le nivellement de la

(1) *Esquisse du terrain erratique du Rhin postérieur, 1850,*

surface du terrain de transport, recouvert par une moraine profonde, un travail exécuté postérieurement par un glacier, on serait encore arrêté, comme à Rivoli, par la difficulté, pour ne pas dire par l'impossibilité, d'expliquer le raccordement de la moraine et du diluvium plus ancien, au même plan incliné vers le cours du Pô.

Cependant, les anciens glaciers ont touché la colline de Turin, et y ont laissé des galets, des blocs, des *dépôts de lehm*, témoins irrécusables de leur passage, de leur séjour et de leur action en dehors des moraines frontales d'Ivrée et de Rivoli; et en s'avancant sur un comblement diluvien, ils auraient pu en dresser la surface et opérer ces raccordements que je ne m'expliquais pas tout d'abord.

Mais en même temps l'action glaciaire aurait effacé les traces de ces anciens cônes dont on a supposé que se composait le comblement de la plaine; et dans cette hypothèse, il faudrait bien admettre que les déjections, qui s'étalent aujourd'hui au sortir de quelques vallées, se sont formées postérieurement et n'ont commencé à se produire qu'après la retraite des anciens glaciers; qu'elles sont d'une époque beaucoup plus récente que le terrain qu'elles recouvrent; enfin qu'il existe une séparation tranchée entre le comblement et les cônes alluviens, ainsi que je l'ai tant de fois constaté, en cherchant à vérifier la démonstration que M. Scipion-Gras en a donné depuis longtemps; on n'aurait

donc plus à s'occuper pour le moment des alluvions superposées aux moraines profondes, et dont elles diffèrent essentiellement, et il ne resterait plus qu'à rechercher les limites séparatives entre ces moraines et le surplus du comblement.

Ainsi que je viens de le rappeler, les glaciers sont sortis des vallées et se sont répandus dans la plaine de Turin; en s'avancant successivement, ils ont établi leurs moraines profondes aussi bien que dans les bassins supérieurs, et si les nappes bordées par les moraines frontales d'Ivrée et de Rivoli, sont des accumulations erratiques, la surface des parties envahies du bassin du Pô, au delà de ces premiers barrages et formant le prolongement de ces nappes, est évidemment aussi d'origine et de formation glaciaire.

A partir du premier bourrelet parallèle à la moraine de Rivoli jusqu'à Turin, on ne remarque aucun changement dans la nature et dans l'arrangement des matériaux constituant le comblement; on retrouve un dépôt identique à celui d'amont, et dans lequel on a reconnu une moraine profonde; et cette parfaite identité indique un comblement exécuté dans les mêmes conditions et sous l'influence d'une même cause, qui, évidemment, a exercée son action sur toute cette surface du terrain, comme le prouvent les moraines frontales de Rivoli et d'Ivrée pour l'amont, et les dépôts de blocs de cailloux et de lehm erratiques jetés sur les flancs et sur les crêtes de la colline de Turin, pour le surplus.

On conçoit que dans la plaine du Rhin on ait eu

la pensée de faire intervenir des courants pour opérer le comblement entre les Vosges et la Forêt-Noire, parce que, dans cette contrée, on ne rencontre pas de traces saisissables à première vue de la présence des glaciers sortis des Alpes à une époque reculée. Mais, dans la partie du bassin du Pô dont il est question en ce moment, ces traces sont développées sur une immense échelle, et l'action glaciaire a produit, jusqu'à la colline, les mêmes effets qu'entre chacun des étages séparés des moraines frontales qui se relèvent à la sortie des vallées d'Aoste et du Mont-Cenis, et la moraine profonde des anciens glaciers réunis occupe tout l'espace qu'ils ont recouvert : le nivellement, la constitution de la nappe superficielle en fournissent la preuve. Et si, encore une fois, on parvenait à démontrer que ces glaciers n'ont commencé à avoir des moraines profondes qu'à partir de leurs premières moraines frontales, et qu'au delà de ces barrages le comblement est dû à la réunion de déjections diluviennes, il ne faudrait pas moins admettre aussi que toutes les parties nivelées de la nappe ont été soumises à l'action glaciaire, et l'extension illimitée des glaciers : que les moraines profondes d'Ivrée et de Rivoli et le comblement, à l'aval jusqu'aux pieds de la colline, offrant identiquement les mêmes caractères, la distinction faite entre ces deux espèces de dépôts n'a rien de certain, et qu'enfin on pourra arbitrairement les rapporter soit au diluvium, soit aux formations erratiques.

Cependant les moraines profondes de Rivoli et

d'Ivrée diffèrent essentiellement des déjections torrentielles ; elles sont nivelées en long et en travers ; elles se composent de boue , de sables , de fragments plus ou moins anguleux , de cailloux arrondis , polis , distribués sans ordre , mais offrant cependant une sorte de stratification irrégulière , indiquant que ces matériaux se sont accumulés par couches , par lits successifs qui souvent se confondent les uns dans les autres. Sur quelques points , en suivant le cours des courants qui sortaient des glaciers , les galets sont plus ou moins dégagés de l'enduit boueux , tandis que dans les cônes , les matériaux sont disposés par ordre de pesanteur ; les plus volumineux suivent la direction de la veine fluide ; les galets les moins gros et les sables viennent ensuite et latéralement ; mais nulle part on n'y remarque des couches boueuses , ou des sables fins intercalés entre les amas de gros blocs.

Dans les moraines de Turin , les matériaux de la nappe n'ont été ni triés ni lavés : dans la couche superficielle , ils sont mêlés à un lehm rougeâtre , puis inférieurement à une boue grisâtre , et nulle part on n'aperçoit une séparation en deux assises , l'une inférieure et d'origine diluvienne , l'autre supérieure et erratique ; entre Avigliana , Ivree et la colline , on ne voit aucune solution de continuité ; la masse du comblement appartient en totalité , soit aux formations erratiques , soit au diluvium , et non aux deux systèmes à la fois.

J'aurais voulu rendre ces considérations plus

sensibles, en donnant des coupes cotées, prises sur un grand nombre de points de la vallée, mais il m'a été impossible de réunir *les éléments authentiques* nécessaires pour rapporter ces profils. Cependant, grâce à l'obligeance de M. Sismonda, je puis en donner quelques-unes.

On sait que les déjections torrentielles sont réglées suivant des pentes qui généralement ne descendent pas au-dessous de 0,02 centimètres par mètre, et ne dépassent pas 0,08; que les formes normales de ces déjections se remarquent surtout quand les torrents débouchent dans des plaines, dans des bassins où leurs alluvions peuvent s'étaler ;

Que la boue se dépose sur des pentes très-variées, suivant qu'elle est plus ou moins épaisse ;

Que le *gravier* comprenant des pierrailles de toute nature, depuis la grosseur du grain de sable jusqu'à celle des matériaux servant à l'empierrement des chaussées, se dépose sur des pentes qui n'excèdent pas 2 centimètres 172 ;

Que les galets, ou les pierres comprises entre les graviers et les blocs (ceux-ci comprenant les pierres qui ont plus de 25 centimètres de diamètre ou de côté), se déposent sur des pentes qui varient entre 0^m,025 et 0^m,05 par mètre ;

Enfin que les blocs se déposent sur des pentes comprises entre 0,05 et 0,08 (cinq et huit centimètres).

On sait aussi qu'à Turin même, et dans les environs, le comblement formé de sables et de galets

peut être considéré comme un mélange de graviers et de blocs, puisqu'on y trouve des blocs ayant moyennement 20 à 25 centimètres de diamètre, et plus; et que l'épaisseur de la nappe est considérable, puisqu'un sondage pratiqué, pour rechercher des eaux jaillissantes à Turin, a été poussé dans ce comblement jusqu'à 50 mètres au-dessous de la surface du sol.

Si l'on admet comme pente moyenne entre 2 1/2 et 5, 3 centimètres pour un comblement de cette nature, on aura, dans les appréciations suivantes, des résultats qui loin d'être exagérés devront certainement être considérés comme beaucoup trop faibles, mais suffisants toutefois pour démontrer l'impossibilité de considérer la plaine de Turin comme un comblement formé par des courants diluviens.

En effet, le sol de la plaine de Turin étant à la cote 240 (place du château), et la surface de la nappe en face d'Avigliana à 368, la pente sur 22,500 mètres de distance entre ces deux points est de 0,00568, ou d'environ 5 millimètres, ou six fois plus faible que celle d'un comblement composé comme il l'est.

Avec 1 pour ‰, à partir d'Avigliana, le sol de Turin serait au-dessous de son niveau réel de 97 mètres, et de 15 mètres seulement au-dessus du niveau de la mer, avec 2 et 3 pour ‰; et en partant de la cote 240, ou de Turin, la surface d'un cône de déjection avec 1 pour ‰ passerait à 97 mètres au-dessus du sol de la vallée à Avigliana;

au-dessus du même point, de 522 mètres avec 2 p. ‰, et de 547 mètres avec 3 seulement. (*Fig. 9.*)

Le comblement n'ayant pas même 6 millimètres de pente par mètre diffère donc essentiellement des déjections torrentielles, anciennes et actuelles.

La Stura coule dans un lit profondément creusé sur l'arête même qui sépare en deux parties la surface conique de son lit de déjection (*Fig. 10*). Ce cône, d'après les renseignements que j'ai recueillis, aurait une pente d'environ 0,02 centimètres, chiffre que je n'ai pu vérifier rigoureusement. Toutefois on sait que Lanzo est à la cote de 526, et S. Morizio à 547, différence 179 mètres, ce qui donne entre ces deux points une pente moyenne de 0,0127, qui, prolongée jusqu'au Pô, à l'embouchure de la Stura, soit sur près de 28 kilomètres, arriverait à la cote 171, à plus de 26 mètres au-dessous de la surface de la plaine, dont la pente générale, suivant le cours du Pô, entre Turin et Cazale, est de 0,00197, ou d'environ 2 millimètres par mètre, et seulement de 0,0002590, de 1/4 de millimètre de Cazale à l'Adriatique.

Tandis que de la rive du Pô jusqu'à S. Morizio seulement, la pente transversale d'un comblement torrentiel, réglée sur 2 à 3 centimètres de pente, passerait; savoir :

Avec 2 centimètres à 497 mètres, soit à 150 mètres au-dessus de ce dernier point.

Et avec 3 centimètres à 647 mètres, soit à 300 mètres au-dessus du même point.

En appliquant les données qu'on trouve, soit sur les cartes de l'état-major piémontais, soit dans le recueil des hauteurs d'Osterwald, on arrive, pour toutes les coupes longitudinales et transversales du bassin, à constater des relations entièrement opposées à celles que l'on devrait nécessairement trouver et observer, si le comblement était la réunion de cônes de déjection élevés par les nombreux cours d'eau qui, des Alpes descendent dans la plaine de la Lombardie; ainsi, et pour ne citer que quelques exemples :

De la rive du Pô, près de Cazale, au Lac Majeur, la différence de niveau étant de 128 mètres, la surface du comblement à une pente moyenne de 0,00189, près de 2 millimètres.

Avec 2 pour ‰ seulement, le plan incliné, partant de Cazale, passerait à 1,212 mètres au-dessus du niveau du lac, ou en partant de ce dernier à 1,154 mètres au-dessous du niveau de la mer à Cazale.

Du Lac de Côme à Milan, la différence de niveau étant de 95 mètres, et la distance de 40 kilomètres, la pente moyenne du comblement est de 0,0025, et avec 2 pour ‰ sa surface passerait à plus de 700 au-dessous du sol de cette ville et de 500 au-dessous du niveau de la mer au même point.

Les pentes transversales, générales et moyennes du comblement variant entre un quart de millimètre, 1 et 2 millimètres, sont donc de beaucoup inférieures à celles qu'affectent les amas de *graviers*

formés et déposés par les eaux courantes, et on ne saurait, indépendamment des autres considérations sommairement rappelées dans cette note, l'assimiler aux formations alluviennes, avant surtout qu'on ne soit parvenu à découvrir des cônes de graviers et même de blocs formés par des cours d'eau, et offrant des pentes non-seulement inférieures à 1 centimètre, mais descendant jusqu'à 1 ou 2 millimètres. Puis, pour compléter la démonstration, il faudrait en outre faire voir comment les diverses parties d'un comblement d'une aussi vaste étendue, et dont les matériaux sont sortis de tant de directions et à des hauteurs différentes, se sont finalement raccordées comme on le voit aux embranchements des vallées latérales, de manière à former une nappe continue, un immense plan incliné, enfin une seule masse, à surface presque horizontale sous l'influence d'un nombre infini de courants, de puissances et d'allures, qui nécessairement aussi devaient varier à l'infini : le Pô alimenté par tous les affluents descendant de la chaîne des Alpes devait avoir une puissance beaucoup plus grande que la branche qui, en passant par la vallée d'Asti, réunissait les eaux de la Haute-Stura et du Tanaro : aussi les déjections vers le confluent à l'extrémité de la colline de Turin devraient présenter des renflements et une dépression médiane; et cependant elles se raccordent parfaitement au plan incliné du grand bassin, et le comblement du Tanaro et de la Bormida, semble

n'être que la continuation et qu'une déviation latérale et dans le même plan, de la nappe principale (*Fig. 11*).

Les moraines de Rivoli et d'Ivrée ne sont pas les seules que l'on rencontre aux abords de la plaine du Pô, et les anciens glaciers y sont parvenus non-seulement par les vallées des deux Doires, mais encore en franchissant les bassins occupés par les Lacs Majeur, de Côme, de Garde, fermés par des moraines frontales très-puissantes.

Le glacier qui occupait autrefois le bassin de Lugano, a laissé, à l'amont et à l'aval du côté de Riva, une moraine profonde parfaitement nivelée, et, après avoir franchi un barrage naturel, a formé les hautes moraines latérales et le comblement régulier de la vallée de Mendrisio, dans la direction de ce lac et du glacier de Côme, tandis que ce dernier s'est avancé dans la plaine vers Milan, en laissant des bourrelets concentriques en saillie sur la nappe profonde jusque dans les environs de la station de Serregno.

Entre ces bourrelets on rencontre des tourbières, des couches assez puissantes de lehm; les galets et les blocs de la nappe et de ces moraines offrent toutes les formes des matériaux erratiques, et sur divers points, ils sont agglutinés et constituent un véritable nagelfluë.

Près de Serregno, on remarque encore quelques légers renflements coupés pour l'établissement du chemin de fer, et jusque Milan, la nappe suit une

ligne de pente continue, et ne diffère en aucune manière des portions comprises entre les bourrelets : sa surface est recouverte de lehm.

A l'aval du Lac Majeur, les dépôts erratiques sont développés sur une très-grande échelle dans la direction de Novare. Au delà de la moraine frontale de Sesto, on aperçoit une immense moraine latérale qui se prolonge dans la direction des proéminences bordant la rive occidentale du lac, entre le Tessin et la vallée de Borgomanero, bien au delà du village d'Oleggio, bâti sur la crête de cette moraine, formant de grandes terrasses étagées, au sommet desquelles on voit des amas de gros blocs et de puissantes assises de lehm, à Marano principalement (*Fig. 11*).

Au pied de ces moraines, le comblement nivelé, dans le prolongement de la plaine, est formé de sables, de galets associés au lehm, comme dans la nappe qui s'étend en face de Sesto, à partir de la pointe et de la rive méridionale du lac jusqu'à la moraine frontale marquant la limite du bassin. Sur la rive gauche, entre Laveno et Porto, on remarque des moraines latérales, et enfin, sur la rive droite, à Cannobio on voit des rochers moutonnés, polis et striés, dont les stries s'enfoncent même au-dessous du niveau des eaux.

On comprend que des cailloux et des blocs, charriés par des courants doués d'une certaine énergie, soient entraînés depuis les Alpes jusqu'au bassin du Pô, en suivant la plupart des vallées ; mais lorsque ces courants devaient franchir les Lacs Majeur, de

Côme, de Lecco, de Garde, le transport de ces matériaux devenait impossible. Et cependant, à l'aval de ces bassins profonds, le comblement ne présente pas de lacunes, ni de dépressions; il est aussi complet que dans les environs de Turin, et il se raccorde au plan incliné qui, de Cuneo à l'issue de la vallée de la Haute-Stura, passe à Turin, Milan et vient se terminer à l'Adriatique, en contournant le pied des Apennins et des Alpes de la Suisse et du Tyrol, jusque dans les environs d'Udine et de Rimini.

Et l'on ne saurait attribuer exclusivement au Pô et à ses affluents, tels que la Haute-Stura, la Dora - Ripaira, la Dora - Baltea, la Stura, l'Orco, l'Elvo et la Sesia, provenant des massifs du Mont-Viso, du Mont-Cenis, du Mont-Blanc et du Mont-Rose, ou du revers des Apennins, la formation du comblement du bassin. Le Tessin, l'Adda, l'Oglio et le Mincio ont leurs lits creusés dans des dépôts de galets provenant de l'amont et qui ont franchi les lacs que traversent ces rivières; des courants les auraient amoncelés dans ces cavités et en seraient sortis chargés seulement de légers détritits, éléments de sédiments plus ou moins puissants, mais non de nappes de sables et de galets *mêlés à la boue glaciaire* qui, évidemment, n'a pas commencé à se produire avant l'apparition des glaciers.

Les anciens glaciers seuls ont pu, en passant par dessus ces lacs, transporter les éléments du

comblement dans la vallée du Pô, comme ceux du Rhône, de l'Aar et du Rhin ont, en franchissant les lacs de Genève, de Brienz, de Thun, de Valenstadt, de Constance et de Zurich, etc., etc., jeté sur le Jura des blocs erratiques alpins, des moraines frontales et latérales, à Berne, à Soleure, à Zurich, etc., etc., et surtout former des moraines profondes dont l'examen et l'étude nous conduisent à admettre les mêmes causes pour des effets analogues observés dans le bassin du Pô.

Jusqu'à ce moment, j'ai considéré la vaste plaine du Piémont et de la Lombardie comme une grande nappe ayant une pente uniforme; mais il est tems de remarquer que transversalement elle offre deux plans réguliers très-légèrement inclinés vers le cours du Pô qui en marque la rencontre, disposition que l'on observe dans toutes les nappes d'une certaine largeur et que ne présentent jamais les déjections alluviennes, offrant au contraire et toujours un renflement plus ou moins prononcé, suivant l'axe du courant qui les a produites.

Le sol fondamental de cette plaine renferme des éléments grossiers et des blocs *souvent très-gros* de diverses roches provenant des Alpes, et s'étend au-dessous du niveau de la mer. La partie supérieure est généralement constituée par une couche de lehm plus ou moins puissante, sensiblement parallèle à la surface de la nappe, et qui offre l'aspect d'un dépôt de sédiment formé sur des terrains inondés; quelques portions de la surface de la nappe cependant

en sont dépourvues, et ainsi il n'existe pas sur le plateau de la rive droite du Tessin, en avant de Trecate, où l'on remarque un immense terrain couvert de chétifs arbrisseaux et qui rappelle l'Ochsenfeld du bassin du Rhin.

Le lehm, produit de la trituration des roches soumises à l'action glaciaire, aurait pu se former après une époque diluvienne. quand déjà le bassin était comblé, et au moment où les glaciers commençaient à recouvrir les Alpes. Cependant on le trouve associé, non-seulement aux matériaux des moraines profondes non contestées, à ceux des moraines frontales et aux accumulations erratiques jetées sur la colline de Turin, sur les flancs et sur les crêtes de diverses proéminences, mais encore aux diverses couches, et à toutes les profondeurs, aux galets, aux blocs et aux sables plus ou moins grossiers du comblement de la plaine; il n'y est pas comme élément accessoire, accidentel et introduit après coup, sur certains points, mais comme partie essentielle et constitutive, et indistinctement dans toute l'étendue du dépôt, que la présence de *la boue glaciaire* ne porte certainement pas à considérer comme une formation antérieure à l'époque erratique.

D'un autre côté, on sait que le lehm s'accumule, soit sous forme d'amas ou de couches boueuses, soit sous forme de sédiment dans les bassins où les eaux sont calmes, et qu'il ne se dépose dans aucun des lits de cours d'eau rapides, sortant de

la région des glaciers ; on a observé en outre que les galets glaciaires enveloppés de lehm perdent cet enduit boueux aussitôt qu'ils sont exposés à l'action des courants, et que dans tous les bancs de sables grossiers, de graviers et de galets remaniés, même par des eaux chargées de lehm, ces matériaux parfaitement lavés n'en conservent plus de traces : son existence et sa conservation dans le comblement du Pô serait donc à la fois une preuve positive de l'âge réel du comblement, et une preuve négative d'un transport par des courants violents ou diluviens, avant et pendant l'époque glaciaire.

Les rivières ont creusé leurs lits plus ou moins profondément dans la nappe de sables et de galets qu'elles attaquent continuellement et dont elles réduisent et transportent au loin les éléments pour en constituer des déjections ou alluvions de l'époque actuelle. Les travaux qu'elles exécutent font l'objet de remarquables mémoires dont M. Élie de Beaumont a donné une savante analyse dans le premier volume de ses leçons de géologie pratique (9^{m^e} Leçon, p. 325).

Les alluvions actuelles tendent à effacer les lagunes, le phénomène des remblais marche avec une grande rapidité, et sans les travaux des Vénitiens, tout l'espace situé en arrière de la digue naturelle des Lidi serait aujourd'hui comblé et transformé en prairies. Le Pô et l'Adige ne paraissent pas avoir toujours versé leurs eaux et leurs sédiments dans

la mer ainsi qu'ils le font aujourd'hui ; tout annonce qu'avant d'en arriver là , ils ont eu à combler des lagunes , comme la Brenta le ferait aujourd'hui sans les travaux des Vénitiens : c'est là que leur delta s'est étendu et développé pendant longtemps.

La marche des alluvions ayant été très-rapide , le Pô a dépassé la ligne originaire du littoral et est entré dans la mer : il n'entraîne , jusqu'à ses parties inférieures , que des matières terreuses , et ne charrie de petits galets que jusqu'aux environs de Plaisance , ville déjà très-éloignée de l'embouchure.

Ces dépôts formés par les rivières sont les alluvions anciennes ou actuelles , constituant l'étage supérieur du comblement : dans les lagunes , les sédiments s'accumulent sous forme de nappes , comme les détritits glaciaires se sont déposés autrefois , tandis que les matières transportées et abandonnées par les eaux courantes constituent des cônes très-déprimés dont l'inclinaison , variant suivant la nature de ces matières , est cependant toujours appréciable.

Quand une rivière a alongé ses berges aux dépens de la mer ou d'une lagune , il faut pour qu'elle conserve la pente nécessaire au débit de ses eaux que sa surface s'élève dans toute sa longueur , comme l'indiquent les *fig. 12* et *13* ; de là il résulte qu'elle s'ensable elle-même , car tant qu'elle n'a pas cette pente indispensable , elle coule très-lentement et les matières terreuses se déposent dans son fond

jusqu'à ce qu'elle reprenne la pente, et, par suite, la vitesse qui lui permet de tenir des matières terreuses en suspension.

Un autre phénomène très-remarquable, c'est la forme ramifiée que prennent les rivières lorsqu'elles arrivent dans la mer, dans des circonstances pareilles à celles où se trouve le Pô, c'est-à-dire lorsqu'elles ont à décharger des matières terreuses sur un terrain plat, et où il leur est par conséquent facile de faire reculer le littoral (*Fig. 14*). Si la mer eût été très-profonde, le Pô n'aurait fait qu'en combler le fond; il aurait pu par conséquent se décharger toujours au même point, et son embouchure n'aurait pas changé de place; mais dans des lagunes et sur une côte plate, il a dû encombrer son embouchure de ses dépôts, et il a fait reculer la mer par ses alluvions et il a allongé son lit en même temps qu'il l'élevait.

Il faut remarquer la manière dont se fait cet allongement : les eaux perdant leur vitesse, surtout dans les parties latérales, la vase se dépose des deux côtés, et il en résulte des digues qui s'avancent parallèlement au cours du fleuve; les *fig. 12* et *13* représentent les coupes transversale et longitudinale de ces dépôts terreux. Ces digues sont très-étroites, et le fleuve, qui s'élève sans cesse par suite de l'allongement même de son lit, finit par rompre l'une de ses rives. Il trouve dans la rupture même une pente rapide, et il se fait un lit dans une nouvelle direction.

Dans la nappe de comblement erratique ou diluvien renfermant des éléments grossiers et des blocs, souvent très-gros, qui s'étend au-dessous du niveau de la mer, retrouvons-nous quelques dispositions qui puissent permettre une comparaison entre cette immense accumulation et les déjections ou les alluvions des torrents et des rivières?

Si le Pô réduit à ses proportions actuelles allonge et élève graduellement son delta au delà du cordon littoral, et si, à une époque plus reculée, il avait été alimenté et grossi par des courants puissants sortis des Alpes, chargés de matériaux plus volumineux que ceux qu'il charrie aujourd'hui, il aurait nécessairement exécuté, mais sur une échelle beaucoup plus considérable, des travaux analogues. Son lit se serait élevé par les additions successives des matériaux qui seraient venus l'encombrer, et il aurait formé une vaste déjection sur cette côte plate que baigne la mer, un delta diluvien dont les ensablements modernes formeraient le prolongement. Dans ce même temps chacun des courants déversant ses eaux et ses déjections dans le bassin aurait élevé un cône plus ou moins puissant, selon sa force et la plus ou moins grande quantité des matériaux enlevés aux bassins d'alimentation.

Les sommets de ces cônes se seraient élevés à divers niveaux; on remarquerait entre eux des lacunes plus ou moins prononcées ou partiellement couvertes de cônes moins puissants dus aux cours d'eau les plus faibles; enfin, au lieu de cette plaine

unie, on ne retrouverait dans le bassin de la Lombardie qu'un comblement irrégulier, mamelonné et fortement accidenté.

D'après ces diverses considérations, on doit le comprendre, je ne pouvais admettre sans examen l'origine diluvienne du comblement du Pô au delà des premières moraines frontales, et au-dessous des lacs : et l'étude des terrains constituant cette vaste plaine, loin de dissiper mes doutes à cet égard, m'a fourni l'occasion d'observer des faits à l'appui de l'opinion que je vais résumer en terminant.

Les anciens glaciers des Alpes ne se sont pas arrêtés au débouché des vallées, mais ils se sont répandus sur toute la surface du bassin du Pô, puisque sur les crêtes et sur les flancs de la colline de Turin on voit des traces incontestables de leur séjour et de leur action.

En se retirant, ils ont élevé les moraines frontales de Turin, d'Ivrée, des Lacs Majeur, de Côme, de Lecco, de Garde. En avant et en arrière de ces barrages se développent les moraines profondes dont la réunion a formé le comblement du bassin, cette immense nappe de sables, de galets et de *blocs unis à la boue glaciaire*; le comblement dans toutes ses parties, et de la base à la surface, offrant les mêmes caractères et le même arrangement que les moraines profondes, ne peut être rapporté et comparé qu'à ces moraines dans lesquelles on n'aperçoit nulle séparation en deux étages, l'un inférieur, ou diluvien, l'autre supérieur, ou erratique.

La présence du lehm ou boue glaciaire dans toutes les parties de la nappe profonde, l'absence de traînées de blocs plus volumineux suivant les axes des courants, prouvent que cette nappe n'a été ni constituée avant l'époque glaciaire, ni remaniée, ni réglée postérieurement par des courants violents.

Les glaciers seuls ont pu franchir les lacs et transporter dans la vallée du Pô des détritiques que des courants auraient abandonnés dans ces cavités.

Les cônes de déjections, des torrents récents et actuels, ainsi que les attérissements et les alluvions, s'étalent à la surface de la nappe qu'ils recouvrent; leurs formes et leur position permettent toujours de les séparer du comblement et révèlent une origine différente; enfin les alluvions et les déjections des torrents diffèrent aussi essentiellement du comblement que des moraines frontales ou latérales; et il serait aussi rationnel d'attribuer à l'action des courants la création des barrages de Rivoli et d'Ivrée, de Sesto, de Côme, etc., que d'admettre dans une nappe réglée comme celle du Pô, et offrant les caractères que j'ai indiqués, une accumulation diluvienne.

Les glaciers en sortant des vallées, du revers méridional des Alpes, ont marché dans la direction de Turin: en raison de leur puissance, dont le développement de leurs bassins d'alimentation peut donner une idée, ils ont repoussé contre la colline les glaciers de la Grana, de la Maira, de la

Varaita, du Pô, du Clusone et du Sangone, et le cours d'eau principal qui s'en échappait; tandis que les glaciers de la Haute-Stura et du Tanaro trouvaient une issue latérale par la vallée d'Asti; et à partir de Turin, le grand glacier médian, maintenu dans la direction générale de l'ouest à l'est par les glaciers latéraux du Tanaro à l'aval d'Alexandrie, des Apennins et des Alpes du Tyrol, a suivi la ligne de pente vers la mer, et a tracé jusqu'à l'Adriatique le cours du Pô, marquant, par ses déviations, à droite et à gauche de cette direction générale, les oscillations latérales de l'ancienne mer de glace du bassin de la Lombardie.

Le 15 Juillet 1851.

VII.

ESQUISSE DE TERRAIN ERRATIQUE DE LA VALLÉE DU RHIN POSTÉRIEUR.

La moraine profonde de l'ancien glacier du Rhin, qui se développe entre les Vosges et la Forêt-Noire, se retrouve dans toutes les parties de la vallée supérieure jusqu'aux environs de la source du fleuve; elle forme un plan incliné continu entre les lacs de Constance et de Wallenstadt et Reichenau; puis, à l'amont de ce point, elle se divise en nappes étagées, interrompues dans tous les défilés, et chaque fois que les dispositions du sol trop accidenté, des pentes trop rapides ou des escarpements ou en ont empêché le dépôt ou favorisé la destruction.

C'est une immense accumulation de débris des masses minérales provenant de la vallée principale

et de ses divers affluents, de sables, de galets et souvent de blocs, plus ou moins parfaitement polis, ayant conservé des traces incontestables des chocs et des frottements qu'ils ont subis pendant leur transport. La surface de ce dépôt est presque toujours dressée d'une manière tellement parfaite qu'elle semble horizontale, et que latéralement elle dessine aux pieds des montagnes bordant les bassins qu'elle occupe, une ligne paraissant de niveau et rappelant les rives des lacs : la masse entière semble marquer des cavités autrefois inondées, remplacées aujourd'hui par des comblements dont les surfaces auraient conservé une horizontalité presque aussi parfaite que celle des eaux dans les moments de calme.

Les matériaux de cette nappe ont évidemment été transportés ; on trouve des galets alpins dans toute la basse vallée, et des galets provenant de la haute vallée, non-seulement suivant le cours du Rhin, mais encore dans la direction de Zurich. Et si l'on admettait que des courants seuls ont pu en opérer le transport, il faudrait rechercher de quelle manière les lacs de Constance et de Wallenstadt ont été franchis, et pourquoi ces immenses cavités n'ont pas été comblées tout d'abord, fait qui jusqu'ici est resté sans explication.

Examinons s'il serait plus facile de rendre compte de l'action des courants à l'amont de ces bassins et jusqu'au glacier de Rheinwald :

Le Rhin postérieur, à l'amont de Reichenau,

reçoit plusieurs affluents, tels que l'Albula, le Schein, le torrent de Ferrara; la vallée offre des bassins élargis à Hinter-Rhein, au Splugen, à Ander, à Tuisis, et ces bassins sont séparés par les défilés de la Rofla, de la Via-Mala, dans lesquels la pente longitudinale très-inclinée est entrecoupée de nombreuses chutes.

La vitesse des eaux variant à chaque instant suivant la pente et les sections du terrain qu'elles parcourent, et en raison de leur masse, leur force et les résultats de leur action devaient nécessairement varier aussi, et le Rhin aurait subi toutes les phases d'un torrent ayant ses bassins de réception et des goulots d'écoulement, à la suite desquels les déjections ou le comblement pouvaient s'accumuler.

Si l'on admet qu'à une certaine époque il occupait dans la vallée toute l'étendue de terrain marquée par la nappe profonde, il faudra en même temps supposer une masse d'eau assez considérable sortant de la coupure étroite et rapide de la Via-Mala, avec une très-grande vitesse, et rejetant dans le bassin de Tuisis les matériaux entraînés du haut de la vallée.

A l'entrée de ce bassin, la pente diminuant subitement, les matériaux pouvaient s'accumuler et constituer un cône de déjection plus ou moins bombé, ayant sur l'arête supérieure, c'est-à-dire suivant la ligne de la plus grande pente ou de la direction du courant, les blocs les plus volumineux,

diminuant de grosseur à partir de la sortie de la gorge ; les blocs les plus petits , les galets et les sables vers les extrémités inférieures ou latérales du dépôt ; dispositions qu'affectent toujours les déjections produites par les cours d'eau agissant dans les conditions où le Rhin se serait trouvé évidemment à la hauteur du Tuisis.

A la sortie du défilé de la Rofla , à Ander, et des passages resserrés de Hinter-Rhein et du Splugen, on devrait retrouver de semblables dépôts. Et cependant , comme celle de Tuisis , les nappes situées à divers étages dans les élargissements successifs de la vallée , sont toujours parfaitement dressées comme je l'ai dit. Les matériaux dont elles sont formées constituent une masse dans l'intérieur de laquelle on ne remarque aucun arrangement particulier, ni triage , ni distribution par ordre de grosseur indiquant diverses périodes et des variations dans la masse et la vitesse des courants.

On trouve dans toutes les parties indistinctement des blocs , des sables et des galets , enveloppés de lehm , ou de boue glacjiaire , confusément entassés , mais jamais distribués par lits parallèles au plan de la surface ou affectant diverses ondulations ; on y chercherait inutilement ces galets imbriqués les uns sur les autres ; marquant un travail incontestable des eaux et tels que nous les observons dans les bancs formés journellement dans le lit du Rhin ; l'absence d'une traînée médiane de blocs plus volumineux ne permet pas d'admettre une veine fluide,

un courant médian : les eaux auraient donc eu, dans toute l'étendue de ces bassins et sur toute leur largeur, la même force, la même vitesse ; hypothèse inadmissible et à laquelle l'observation du régime des rivières démontre qu'on ne saurait s'arrêter.

Le lit du Rhin, creusé dans la nappe de comblement, est une coupure plus ou moins profonde, dans les limites de laquelle on observe tous les effets de l'action des eaux ; des bancs de sables et de graviers, des couches limoneuses laissées sur des terrains accidentellement et momentanément inondés sur les deux rives, et tendant à combler les plis, les inégalités des graviers remaniés (*Pl. 18, fig. 3, 4, 5*) ; sur les surfaces sableuses, ces zones, ces cavités, ces bourrelets, indices constants des remaniements, des déplacements et du transport exécutés par les eaux. Mais nulle part on ne voit une surface dressée, soit longitudinalement, soit transversalement, qui puisse, sur un seul point et même sur une échelle très-petite, offrir un exemple d'un comblement régulier exécuté ou terminé par un courant calme ou rapide.

Lorsqu'un cours d'eau, dans un bassin resserré, peut parcourir successivement toute une portion de la nappe, l'attaquer et ouvrir un certain nombre de canaux d'écoulement, la régularité du comblement est presque entièrement détruite sur une certaine étendue de terrain ; aux abords de quelques glaciers, par exemple, la moraine profonde,

sillonnée et recouverte par les débris entraînés et dispersés de la moraine frontale, affecte quelquefois l'aspect d'une déjection torrentielle ; mais la moraine profonde se prolongeant sous le glacier, et se retrouvant ensuite à distance avec toute sa régularité, on s'aperçoit bien vite que la disposition dont je parle n'est qu'un fait accidentel qui s'explique d'ailleurs parfaitement.

A l'amont du village d'Hinter-Rhein, la nappe de comblement se prolonge sur plusieurs kilomètres, et elle se termine à l'entrée du dernier défilé séparant le premier bassin de la vallée du glacier actuel ; le Rhin se précipite entre des rochers étagés et coule dans les crevasses profondes qui les divisent ; sur la droite un glacier descendant du flanc occidental de Vogelberg rejette dans son lit des blocs et des débris que les eaux déplacent et entraînent en partie et étalent sur la nappe, à l'origine même du bassin.

Ici, comme dans le voisinage de tous les glaciers, on comprend immédiatement les causes en étudiant les effets (*Pl. 15, fig. 2*).

La nappe profonde, découpée par un certain nombre de canaux, est cependant réglée transversalement et longitudinalement ; quelques blocs sont éparpillés à sa surface, unie d'ailleurs comme le serait celle d'un lac occupant le bassin.

Un amas de neige mêlée de débris de rochers et de végétaux couvre une partie du cours du Rhin, mais du point où il s'échappe de la voûte glacée,

on remarque un cône de déjection qu'il a formé et qu'il continue à prolonger sur la nappe.

Ce cône aujourd'hui n'a que quelques centaines de mètres de longueur ; il donne, ainsi que les canaux creusés dans le comblement la mesure du travail que peut exécuter le cours d'eau actuel ; un torrent plus puissant agrandirait ce cône et creuserait dans la nappe des fouilles plus profondes ; mais dans aucun cas, et quelle que soit la masse de ses eaux, il ne remplirait pas le bassin d'une nouvelle couche parallèle à la surface unie de la nappe, que le cône *recouvre* et sur laquelle il *s'étale*.

Ces relations, cette superposition ne sont-elles pas une preuve de la séparation naturelle des deux dépôts, aussi bien que de leur succession ; ne voit-on pas que le comblement ou la nappe établie en premier lieu dans le fond du bassin, ne résulte pas de l'action d'un courant qui lui aurait imprimé une autre forme en y introduisant des caractères qu'elle n'offre pas, une distribution par ordre de grosseur des matériaux ; que l'action des eaux est marquée sur cette nappe dans laquelle le Rhin a tracé des sillons et opère encore d'incessantes érosions ; que les eaux n'ont commencé à agir seules sur la moraine abandonnée qu'après la retraite du glacier ; que le dépôt *alluvial* ou de transport par le courant se réduit à un cône de déjection d'une minime importance ; enfin que, depuis que le glacier est confiné dans la région supérieure du bassin, le Rhin, à aucune époque, n'a éprouvé

de crues violentes, subites ou prolongées, puisqu'il n'existe à la surface de la nappe aucune trace de coupures ou de déjections révélant le passage d'un torrent plus puissant.

Les eaux tendent donc à détruire l'harmonie des moraines profondes, et chaque fois que les circonstances locales ont favorisé le déplacement des matériaux erratiques ou provenant de la destruction continuelle des masses minérales, et le transport de ces matières par des courants, les comblements ou les déjections alluviens sont *toujours nettement séparés* des dépôts que je considère comme les moraines profondes des anciens glaciers et *leur sont constamment superposés*.

La séparation des moraines profondes et des dépôts *d'origine alluvienne incontestable* est un fait constant et qu'on peut vérifier à chaque pas; ces dépôts sont donc plus récents, et la production des uns et des autres dépend de deux causes différentes qui ont agi successivement, puisqu'il n'y a pas de mélange, confusion, mais toujours *séparation et superposition*.

Si le comblement dont il est question était un dépôt alluvien, il serait le résultat d'un travail plus ou moins prolongé du Rhin et de tous ses affluents qui auraient confondu leurs eaux et les matériaux transportés dans le bassin principal. Les déjections, comme cela arrive toujours au confluent de deux courants, constitueraient des cônes distincts ou réunis par un de leurs côtés, disposition dont on voit un

exemple frappant à l'amont du lac de Lungern (*B, C, pl. 16*), mais non une nappe régulière, un plan incliné se prolongeant sans interruption et sans renflement dans les vallées latérales.

A la hauteur de Sargans le comblement du Rhin se divise en deux branches, l'une suivant le cours de ce fleuve, jusque dans la basse vallée, l'autre se dirigeant vers Wallenstadt et débordant le lac jusqu'au delà de Schænis.

La présence de matériaux du bassin du Rhin rejetés dans la vallée de la Linth a pu faire supposer que le Rhin avait autrefois coulé en totalité ou en partie dans cette direction, et que ses eaux, à une certaine époque, s'étaient jetées dans le lac de Zurich, et qu'il ne faudrait pas une crue considérable pour les ramener de ce côté, la nappe, entre Sargans et Vilters, n'étant élevée que de quelques mètres au-dessus de son lit.

Cependant on ne remarque, sur cette branche du comblement, ni érosions, ni coupures indiquant le passage d'un courant, tandis que les limites du lit du fleuve sont parfaitement marquées et font voir qu'il continue à suivre sa direction primitive, dont il n'aurait pu s'écarter d'ailleurs sans laisser des traces de son action accidentelle ou prolongée sur la nappe de sables et de galets.

Ces matériaux provenant de la vallée du Rhin, et transportés au delà du lac de Wallenstadt, sont cités comme une preuve d'une dérivation ancienne et momentanée du cours d'eau dans cette direction.

Mais si l'on examine ce dépôt jeté latéralement en dehors de la direction de la masse à laquelle il se rattache, et à environ 38 kilomètres de Sargans, on n'y verra certainement pas une déjection diluviennne.

Les observations de M. Guyot, sur la distribution du terrain erratique de la Suisse, ont démontré que ces dépôts du Rhin et de la Linth venaient *se toucher* dans le voisinage de Schænis, mais que loin de se confondre ils restaient nettement séparés.

Les deux moraines profondes se raccordent au même plan incliné, et celle du Rhin s'appuie vers la droite ou contre le pied des montagnes bordant la vallée près de Rufi. Au delà de ce point, elle marche parallèlement à la moraine de la Linth et s'avance dans la direction du Rapperschwyl et Bülach. Ici, comme toujours, la séparation des dépôts, provenant de deux bassins différents, démontre qu'au moment où ils se sont rapprochés, ils étaient soumis à une cause qui ne permettait pas, ni la production de mouvements brusques dans la marche des matériaux transportés, ni leur mélange qui infailliblement aurait eu lieu s'ils avaient été roulés dans les eaux de deux courants opérant leur jonction au-dessous du lac de Wallenstadt.

Dans tous les cas, ces courants auraient dû exécuter le comblement de la Linth, soit simultanément, soit successivement; mais on vient de voir déjà que la séparation et la juxtaposition des nappes ne permettait pas de s'arrêter à la première hypothèse : quant à la seconde, la même raison doit

la faire rejeter aussi, puisqu'il n'y a ni superposition, ni relèvement.

En dehors de la nappe, il existe sur la droite de la vallée, à Wesen et sur les flancs du Schænberg, un dépôt de cailloux agglutinés, un véritable nagelflue, et provenant du bassin du Rhin; son élévation au-dessus du niveau du lac, étant assez considérable, le courant à ce point aurait eu une très-grande profondeur, et par conséquent assez de force et de vitesse pour entraîner ces cailloux beaucoup plus loin et en former une traînée latérale sur la rive droite du bassin.

La moraine profonde se prolonge vers le lac de Zurich, avec la même régularité : à l'amont de Benken un mamelon transversal, et partant des massifs des montagnes de la rive droite, barre presque entièrement la vallée et ne laisse contre la rive gauche qu'un passage assez resserré. (*Pl.* 8.)

Dans l'espèce d'anse que dessine ce mamelon, à ses pieds, à l'amont et à l'aval, la nappe n'a éprouvé aucune inflexion, elle paraît horizontale, et on voit que cet obstacle n'a pas causé de perturbation, ni dans le transport des matériaux, ni dans leur arrangement. Cependant un cours d'eau parcourant la vallée aurait éprouvé un ralentissement contre ce barrage, puis une accélération de vitesse dans le défilé; ses alluvions se seraient amoncées à l'amont dans l'anse, et latéralement à l'aval dans la direction de la veine fluide, et leur hauteur aurait graduellement diminué.

Les dispositions du terrain, le raccordement des nappes du Rhin et de la Linth à un même plan incliné, la brusque interruption du comblement du Rhin, dans un des passages les plus larges de la vallée, et sur un point assez éloigné du mamelon de Benken, sont des faits dont on a d'ailleurs de nombreux exemples dans les Alpes, et qu'on ne saurait expliquer autrement que par l'intervention des glaciers.

J'ai fait remarquer, en parlant des matériaux dont se compose la moraine profonde, qu'il y avait mélange confus de sables, de lehm, de galets anguleux ou arrondis, et que quelques-uns de ces cailloux avaient des surfaces planes ou courbes parfaitement polies. Ceux-ci se rencontrent sur tous les points, non-seulement à de grandes distances des lieux où l'on retrouve en place les rochers desquels ils ont été extraits, mais encore dans les bassins supérieurs et aussi avant que l'on puisse pénétrer sous les glaciers.

On a reconnu, pour les quarzites et les roches très-dures, que leurs débris n'auraient pas pris la forme de cailloux parfaitement arrondis, forme qu'ils ont même dans le haut du bassin au-dessus de Bâle, s'ils n'avaient fait que descendre des montagnes, en frottant les uns contre les autres, dans un cours d'eau tel que le Rhin, et l'on est arrivé à conclure, ou bien que ces cailloux ont subi pendant l'époque diluvienne ou erratique des frottements plus violents que ceux qu'ils éprouvent dans le

roulis actuel du fleuve, ou bien que ces mêmes cailloux avaient été préalablement arrondis dans des lacs ou dans la mer, à l'époque tertiaire, lorsqu'ils sont entrés en circulation dans les eaux courantes.

Si l'on admet une époque diluvienne, des courants plus violents que les cours d'eau actuels, et le transport de ces cailloux dans le sein des eaux, il faudra admettre en même temps que tous les galets provenant du Vogelberg, par exemple, et transportés vers le bas de la vallée, soumis à la même cause, doivent offrir les mêmes formes après une certaine distance parcourue; que les matériaux les plus tendres ont éprouvé des modifications plus sensibles que des quarzites ou des roches d'une certaine dureté. Mais, dans l'observation que je viens de citer, on a répondu d'avance à cette supposition, en disant que les cailloux arrondis se rencontreraient aussi bien dans le haut du bassin, au-dessus de Bâle, que dans la vallée au-dessous; de mon côté j'ai ajouté qu'ils existaient dans les bassins supérieurs, et ils y sont *associés à des galets anguleux*, à Hinter-Rhein, au point même où la moraine profonde disparaît sous la première accumulation de neige. Quant aux matériaux offrant moins de résistance, ils sont comme les quarzites ou certains débris granitiques, tantôt anguleux, tantôt arrondis, ce qui prouve incontestablement qu'ils n'ont pas été roulés dans un courant dans le sein duquel, une partie des matériaux charriés n'auraient pu être préservés des chocs et des frottements dont le surplus offre des traces évidentes.

Quant aux cailloux préalablement arrondis dans les lacs ou dans la mer, je répondrai, en passant, qu'on ne voit nulle part les lieux de dépôts de ces matériaux façonnés à l'avance, préparés spécialement pour l'époque diluvienne, et qui auraient pu, dans les bassins supérieurs, se mêler dans chacune des localités traversées par les courants, à des galets anguleux, dont le nombre aurait graduellement diminué jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle il ne se serait plus rencontré que des cailloux arrondis, limite qui n'existe dans aucune nappe de comblement. Enfin j'ajouterai que le procédé suivant lequel les cailloux même les plus durs s'arrondissent et se mêlent à des galets anguleux, n'est plus un mystère; qu'il est parfaitement connu aujourd'hui, et qu'il suffit d'étudier pendant quelques instants le travail incessant d'un glacier pour le comprendre et pour en vérifier l'application.

A l'époque où l'on pensait que les limites de l'ancienne extension des glaciers étaient marquées par les premières moraines frontales, par les premiers blocs erratiques, on croyait que ces glaciers avaient pu se retirer, sinon subitement, du moins avec assez de rapidité pour fournir de grandes masses d'eau à l'action desquelles on attribuait la dispersion d'une partie des dépôts erratiques, le transport et l'arrangement des comblements.

Mais la conservation de certains barrages et des accumulations de sables et de menus graviers, les faibles dimensions des sections ouvertes dans ces barrages devaient bientôt faire comprendre combien

peu cette hypothèse était fondée. D'un autre côté des nappes régulières se retrouvant dans les intervalles des moraines frontales, et se prolongeant de l'amont à l'aval suivant le même plan, la même ligne de pente sous ces mêmes moraines qu'elles supportent, quelques géologues ont cru trouver une solution à la question en attribuant à ces nappes une origine diluvienne, et en admettant qu'elles avaient été formées et réglées par des courants, *avant l'époque glaciaire*.

D'après les observations qui précèdent, on ne saurait voir dans la nappe profonde de la vallée du Rhin un comblement diluvien postérieur ou antérieur à l'époque erratique : la régularité du dépôt dans les bassins, à la sortie des gorges, la distribution des matériaux, le mélange des galets anguleux de cailloux arrondis ou polis, le prolongement de la nappe dans les vallées latérales, d'un côté à l'autre d'un obstacle, sans inflexion, sans renflement, accusent une autre origine : la conservation des moraines frontales anciennes superposées aux comblements, prouve qu'ils n'ont pu se former en second lieu, enfin la présence du lehm ou de la boue glaciaire dans les comblements démontre encore qu'ils appartiennent à l'époque glaciaire et qu'ils n'ont pu la précéder.

Quand on descend du Saint-Bernardin, entre le village des Bains et San-Giacomo, on rencontre un bassin de forme circulaire offrant une nappe de comblement d'une parfaite régularité, dont la surface

est couverte par une prairie parsemée de quelques groupes d'arbrisseaux (*Pl. 18, fig. 1*). A l'amont, le torrent de la Mæsa tombe, à la suite de plusieurs chutes, aux pieds des rochers escarpés bordant le cirque qu'il traverse dans un lit sinueux, où il coule lentement, pour reprendre ensuite sa course rapide et saccadée dans de nouveaux escarpements.

Sur la gauche, deux cônes de déjection que la route doit franchir viennent s'étaler sur la nappe qu'ils tendent chaque jour à envahir de plus en plus, et dont ils *recouvrent* partiellement *la surface*.

Les matériaux de la nappe proviennent de l'amont de la vallée, encombrée de dépôts erratiques au village même des Bains, et dont la présence et la conservation ne permet guère de supposer le passage d'un courant beaucoup plus puissant que le torrent actuel après la retraite de l'ancien glacier.

Si l'on voyait dans le comblement du bassin dominant San-Giacomo un dépôt diluvien, il faudrait dire qu'il est antérieur à l'envahissement de la vallée par le glacier du Saint-Bernardin, ou bien qu'il s'est formé pendant que ce glacier occupait les hauteurs voisines et plaçait ses moraines hors des atteintes du cours d'eau.

Dans tous les cas, un torrent débitant assez d'eau pour inonder le bassin, et pour charrier et régler dans toutes ses parties, au milieu et sur les rives, les matériaux transportés, devait tomber avec impétuosité, conserver pendant quelque temps une certaine énergie, puis ralentir graduellement

sa marche sur une pente presque nulle et dans un passage subitement et considérablement élargi ; conditions entièrement défavorables à la formation d'une nappe régulière composée indistinctement, dans toutes ses parties, de matériaux parmi lesquels aucun triage ne s'est opéré.

Les torrents latéraux, agissant en même temps, n'auraient-ils pas mêlé leurs alluvions à celles de la Mæsa et contribué à introduire dans le comblement de nouvelles imperfections et des mélanges dont il est entièrement dépourvu : sa masse ne renfermant que des matériaux provenant des massifs d'amont, tandis que les cônes latéraux étant exclusivement formés de déjections locales *reposant sur la nappe*, il y a séparation parfaitement tranchée entre ces divers dépôts. Et la superposition des cônes sur le comblement, démontrant que l'action des cours d'eau secondaires n'a commencé à se produire et n'a pu s'étendre jusqu'à la surface de la nappe qu'après l'achèvement complet de celle-ci, on voit que, pendant tout le temps nécessaire pour l'accomplissement du transport de la masse centrale et principale, toutes les causes secondaires étaient sinon suspendues, du moins étaient renfermées dans les limites au delà desquelles elles se sont ultérieurement exercées et qu'elles continuent à franchir aujourd'hui.

J'ai eu souvent occasion d'observer, dans de petits bassins, de quelle manière les alluvions se distribuent à la suite d'une chute d'eau tombant sur un

plan légèrement incliné, et dans ces circonstances j'ai toujours remarqué des dispositions qu'on ne saurait comparer à celles du comblement dont il est question en ce moment.

Un canal d'une faible section, brusquement interrompu, ayant une chute d'environ 2 mètres de hauteur et un débit de quelques centaines de litres d'eau par seconde, a été récemment construit pour assurer l'irrigation d'une partie de la nappe de galets de la Moselle, près d'Épinal.

L'eau en tombant sur cette nappe a creusé une cavité, un petit bassin circulaire, et a exécuté un déblai dont les matériaux ont été éparpillés à l'aval sous formes de bourrelets, de zones concentriques diminuant graduellement de hauteur à mesure qu'ils s'éloignent du centre du bassin. A partir du premier bourrelet formé des cailloux les plus gros, les zones circulaires offrent successivement des matériaux moins volumineux, des menus graviers purs ou mélangés de sables, enfin du sable pur. Et l'on remarque en outre, suivant la direction du courant qui se rétablit à la suite de la chute, que dans chaque bourrelet les matériaux les plus lourds occupent l'espace correspondant à la veine fluide.

Les eaux entraînant de temps à autre de l'amont des sables et des galets qu'elles rejettent dans le bassin, et le débit n'ayant rien de constant, l'arrangement des déjections et leur mélange éprouve des variations fréquentes, mais que le nombre des bourrelets augmente ou diminue, que ces bourrelets

s'élèvent d'avantage ou qu'ils s'abaissent ; ils sont cependant toujours disposés dans le même ordre , l'action de l'eau , quelle que soit son énergie ou sa faiblesse , ne produisant jamais des effets différents , les formes des zones et le classement des matériaux offrent invariablement les mêmes caractères.

Cet exemple peut donner une idée des effets produits dans le cas où la Mæsa , énormément grossie , aurait exécuté ou réglé le comblement du bassin qu'elle traverse à l'amont de San-Giacomo : elle y aurait introduit les dispositions que représente le croquis (*Pl. 18, fig. 2*), dans le même temps les déjections latérales se seraient *mêlées* au comblement principal , et l'on ne verrait pas aujourd'hui une nappe d'une régularité parfaite , un plan sur la surface duquel les torrents ont étalé leurs cônes , comme pour démontrer une fois de plus les différences essentielles qui existent entre les comblements alluviens et erratiques dont on a ici deux exemples frappants.

On considère généralement encore les moraines profondes comme des comblements exécutés par les eaux dans des lacs successifs , occupant autrefois les divers étages des vallées et desséchés aujourd'hui. J'ai déjà fait remarquer combien ces attérissements produits dans les lacs aux embouchures des cours d'eau différaient des nappes régulières dont il est question , et cependant il ne sera peut-être pas inutile d'ajouter quelques faits à l'appui de mes précédentes observations à cet égard.

En 1836, les habitants de Lungern (canton d'Unterwald), ayant ouvert un canal d'écoulement souterrain dans les rochers qui forment la digue de leur lac, et à la suite de cette opération le niveau des eaux de ce lac qui occupait tout le fond de la vallée s'étant abaissé d'environ 30 mètres (1), le tiers supérieur du bassin s'est trouvé desséché. Le terrain mis à découvert est une nappe de comblement parfaitement dressée suivant une ligne de pente très-faible, plongeant sous les eaux et que l'on retrouve aux pieds des escarpements du Brunig et des rochers formant un promontoire vers le haut du bassin (*Pl. 16*).

Cette nappe comme celle de San-Giacomo, se terminant brusquement contre les parois abruptes du cirque vers le Brunig, n'offre nullement de ce côté l'aspect d'une déjection torrentielle, tandis que le torrent qui coule dans la vallée partant des flancs du Wylerhorn et débouchant dans le bassin, vers la gauche, a exécuté un énorme remblai, l'ancien delta du lac, preuve évidente du concours des eaux dans le comblement partiel de ce lac.

Une section du village est bâtie sur cette déjection, tandis que le groupe principal des habitations est établi à droite sur un immense cône, dont la base ainsi que les flancs ont été attaqués et coupés par

(1) Ch. Martins. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. 13, 1841—1842.

l'action des cours d'eau périodiques qui se jettent dans ce lac.

Ces diverses parties du comblement sont formées de matériaux offrant des traces de frottements, de sables et de galets anguleux ou arrondis, bruts ou polis, que l'on distingue parfaitement des fragments de roches arrachés aux flancs du Wylerhorn et charriés par le torrent, mêlés aux débris des déjections anciennes et qui n'ont subi que quelques chocs insuffisants pour leur donner un poli même imparfait.

Le terrain étant mis à découvert aujourd'hui, on peut vérifier et constater facilement les caractères de chacun des dépôts, leurs relations, leurs superpositions, et distinguer la nappe inférieure, les alluvions des cours d'eau et les remaniements anciens ou récents qu'ils ont opérés dans les accumulations erratiques. Ainsi on voit la moraine profonde provenant de la vallée de l'Aar, composée de matériaux disséminés sans ordre dans toute sa masse et sur sa surface dressée et unie, savoir :

A l'amont un cône de déjection ancien *C*, composé principalement de matériaux erratiques, et contre lequel un cône moins puissant et plus incliné *B* vient se jeter ; à droite le cône du village principal *B'* : déjections *reposant toutes sur la nappe profonde A A A*.

La moraine profonde est antérieure aux accumulations alluviennes, puisqu'elle en est recouverte. Le delta principal se compose des deux cônes d'amont,

dont nous avons parlé, qui n'ont commencé à se former qu'au moment où la nappe a été entièrement mise à découvert et s'est trouvée dégagée de la masse de glace sous l'influence de laquelle elle a acquis la régularité qu'elle offre encore dans toutes ses parties conservées.

Le grand cône d'amont et la faiblesse du torrent actuel prouvent que le glacier franchissant le Brunig et descendant dans le cirque du Wylerhorn a fourni une grande quantité de matériaux façonnés que le cours d'eau n'a pas amenés de loin, et qu'il a accumulés sur le front et à peu de distance de la tranche terminale de la dernière portion du glacier; puis lorsque la totalité des glaces eut disparu, le torrent ne rencontrant plus les éléments de la moraine frontale pour continuer l'exhaussement du cône, a entamé ce dépôt et s'est creusé un lit qu'il n'a franchi à aucune époque pour former ensuite, soit avec les déblais enlevés dans la coupure où il fixait son cours, soit avec les matériaux arrachés aux escarpements du Wylerhorn, un delta plus récent, moins incliné *B*, débordant les deux cônes et s'étalant comme eux sur la surface de la moraine profonde et sous les eaux du lac.

Les cônes que l'on voit sur la rive gauche, ainsi que ceux que le promontoire formé par des rochers à l'aval du village ne permet pas d'apercevoir, et celui sur lequel Lungern est bâti, se sont formés aux dépens des moraines latérales; leur puissance indique bien plus l'importance de ces moraines que

celle des cours d'eau, qui n'ont pu agir que successivement et à mesure de la retraite du glacier.

La moraine profonde du bassin de Lungern marque l'emplacement de la dernière section du glacier; elle se prolonge jusqu'au lac des Quatre-Cantons, et toujours dans les mêmes conditions. Ainsi quand on franchit le barrage du Kaiserstuhl, on la retrouve aux pieds des rochers escarpés fermant à l'amont le bassin de Sarnen : sur la gauche, deux immenses cônes, boisés en partie, s'étalent sur le comblement inférieur (*Pl. 17, fig. 2*), la nappe n'éprouve aucune inflexion, soit à l'amont, soit à l'aval du village de Giswyl bâti sur un mamelon qui se relève brusquement au-dessus de sa surface unie. Au-dessous de ce village un cône de déjection en activité, et sur lequel cependant on voit déjà quelques arbres, s'avance de plus en plus; et comme toujours les dépôts alluviens sont nettement séparés du comblement glaciaire.

La coupe (*Fig. 3*) de la même planche indique les relations des lacs de Sarnen et de Lungern, et la marche qu'aurait suivie un courant diluvien, sortant de ce dernier, pour se jeter dans le bassin inférieur au-dessous du Kaiserstuhl; la différence de niveau entre les deux lacs étant de 187 mètres, et du sommet des rochers *A* au point *B* d'environ 220 mètres, on devrait trouver au pied de cette chute des affouillements et des déjections proportionnés à la puissance du torrent supposé; et cependant on ne rencontre pas autre chose qu'un plan

très-peu incliné qui vient se terminer brusquement contre les parois escarpées des rochers; et cette nappe se retrouve au-dessous de Sarnen jusqu'au lac des Quatre-Cantons : on la voit dans tout le bassin de Stanz (*Pl. 17, fig. 1*), aux pieds de la chaîne du Pilate et des proéminences bordant le lac, entre Lucerne et Winckel, quels que soient les obstacles, les relèvements des proéminences transversales, les enfoncements du sol submergé *et constamment inférieure aux déjections alluviennes.*

Les dépôts de matériaux transportés dans le fond des vallées offrant des caractères tellement tranchés et opposés ne sont donc pas produits sous l'influence d'une seule et même cause, et la superposition des cônes sur les nappes, prouve que les eaux n'ont commencé à agir et à opérer des transports qu'à partir du moment où les montagnes et les vallées se sont dépouillées de leur manteau de glaces.

Ce que l'on voit dans la vallée du Rhin n'est donc pas une disposition exceptionnelle propre à ce bassin exclusivement. Les mêmes faits, les mêmes relations s'observent dans toutes les vallées des contrées envahies autrefois par les glaciers : les croquis joints à ce mémoire le démontreront, je l'espère, beaucoup mieux que les citations et les considérations que je viens de présenter, et que je crois inutile de multiplier ou d'étendre davantage; le point essentiel qu'il s'agissait d'établir, doit être maintenant un fait évident; la moraine profonde

n'offre, dans aucun cas, les caractères des dépôts de transports dus à l'action des eaux : elle résulte d'une toute autre cause, et ces dépôts n'étant jamais inférieurs, ou intercalés, sont nécessairement plus récents que la nappe qu'ils recouvrent; l'action des eaux seules n'a donc commencé à se faire sentir qu'après l'achèvement complet des moraines ou nappes profondes de comblement, les relations constantes de ces nappes et des dépôts alluviens en fournissent en outre la preuve la plus formelle, et la conservation des moraines frontales et latérales prouve qu'autrefois comme aujourd'hui cette action ne s'est fait sentir que sur des points isolés, et qu'à aucune époque, soit pendant la retraite des glaciers, soit après leur disparition, les vallées n'ont été sillonnées par des courants diluviens qui auraient détruit la plupart des dépôts meubles, conservés intacts jusqu'à ce moment, et produit d'immenses déjections qu'on ne rencontre nulle part.

Je n'insisterai donc pas plus longtemps sur la nécessité de ranger ces divers dépôts dans des groupes entièrement distincts, puisqu'il n'est plus possible, si l'on veut tenir compte des faits, de conserver le moindre doute à cet égard : cependant avant de commencer l'examen des divers dépôts erratiques que l'on rencontre dans la vallée du Rhin-postérieur, je dois dire encore quelques mots de certaines dispositions remarquables de la moraine profonde, et rechercher s'il est possible de la

considérer comme une ruine d'un comblement plus considérable exécuté par des courants diluviens.

On a vu que la moraine profonde conservait toute sa régularité à l'amont et à l'aval des obstacles qui se relèvent au-dessus de sa surface, et nous allons la retrouver divisée en plusieurs étages, près du confluent des deux branches principales du Rhin (*Pl. 9 et 10*).

Le village de Bonaduz est situé sur un plateau partant des montagnes de la rive gauche du Rhin-postérieur et barrant presque entièrement la vallée. La surface de ce plateau, élevé d'environ 70 mètres au-dessus du Rhin, parfaitement dressée et horizontale, est recouverte par la moraine profonde qui se retrouve à l'amont et à l'aval, aux pieds des rochers constituant ce barrage, à 2 ou 3 mètres au-dessus du niveau du cours d'eau. Sur ce même plateau on remarque plusieurs monticules de sables et de galets évidemment superposés à la nappe et dont je parlerai plus tard.

Le défilé ouvert entre le barrage et les montagnes bordant la rive droite n'étant pas assez large pour que le glacier pût s'y loger en totalité, le plateau a été envahi et recouvert par la glace et par la moraine profonde aussi bien que le fond du bassin en amont, en aval et latéralement dans la gorge; les traces de l'action glaciaire s'observent de chaque côté beaucoup plus haut que le niveau de Bonaduz.

Le comblement sur le plateau et celui de la vallée sont absolument identiques, et les formes

des matériaux, leur arrangement, le nivellement des surfaces font voir qu'ils font partie d'un *même dépôt*, et qu'ils résultent d'un *même travail* exécuté sous l'influence de *la même cause*.

La nappe de Bonaduz est parfaitement horizontale : sa surface étant à la cote 672 mètres au-dessus du niveau de la mer, et le comblement à l'entrée de la Via-Mala près de Tuisis, étant à la cote 678 mètres, la pente entre ces deux points sur 14 kilomètres est de 0,0044.

Si cette nappe élevée de 70 mètres au-dessus du plan incliné, partant de Tuisis et venant se terminer à l'amont, au pied de l'escarpement terminal du plateau, n'est pas un étage de ce plan reporté partiellement au-dessus d'un obstacle, il faudra supposer qu'il y a eu sur ce point un soulèvement partiel, ou que le comblement primitif remplissait la totalité du bassin d'amont, jusqu'à la hauteur de Bonaduz.

Mais le cordon latéral des dépôts erratiques reliés à la nappe et aux mamelons coniques de ce plateau, n'offrant ni interruption, ni dislocation dans leur ligne de pente générale, on reconnaît immédiatement l'impossibilité de s'arrêter sérieusement à l'hypothèse de ce soulèvement local, et il ne reste à examiner que l'idée du comblement complet morcelé ensuite par les eaux.

Pour atteindre le plateau, il faudrait que le Rhin s'élevât à 70 mètres au-dessus de son niveau actuel et qu'il fournît une quantité d'eau suffisante pour

inonder tout le bassin : admettons cependant qu'à une époque quelconque il était dans ces conditions et que, malgré son volume et sa rapidité, ce courant diluvien n'ait transporté sur le sommet du contrefort, barrant son cours et dans tout le bassin d'amont, que des sables et des menus matériaux ; le comblement exécuté alors, et au moment de la puissance maximum des eaux, aurait donc été ensuite morcelé et détruit par un courant plus faible, et se réduisant graduellement jusqu'aux proportions qu'il conserve aujourd'hui.

On comprend que le Rhin passant sur un terrain aussi peu résistant se soit creusé un canal d'écoulement suivant la pente naturelle de la vallée entre Tuisis et le point où il se jette dans le Rhin-antérieur. La différence du niveau entre ces deux points étant de 75 mètres, cette pente est pour 17 kilomètres, de 0,^m0044, et c'est en même temps celle du comblement d'amont.

Mais entre Tuisis et Bonaduz, on rechercherait inutilement les traces de ce canal dont les berges contre le plateau devraient avoir 70 mètres de hauteur ; et l'on ne voit aujourd'hui qu'une nappe parfaitement dressée paraissant parfaitement horizontale, et qui, latéralement, marque aux pieds des flancs des montagnes bordant le bassin une ligne sensiblement de niveau, interrompue çà et là par les déjections torrentielles qui s'étalent sur sa surface et forment des cônes plus ou moins puissants ; des terrasses indiquant des réductions successives,

dans le volume des eaux, n'existent nulle part, et les érosions de la nappe profonde se remarquent exclusivement dans le lit même du Rhin, ou sur les parties du comblement qu'il a touchées à diverses époques, entre des limites parfaitement marquées et au delà desquelles il ne s'est jamais porté depuis l'achèvement de cette nappe; mais sur la nappe du plateau du Bonaduz, il n'existe pas la moindre coupure longitudinale révélant le passage d'un courant à une époque quelconque, et sa parfaite conservation aussi bien que la présence des cônes sableux prouvent que le Rhin n'a jamais franchi la crête de l'escarpement qu'elle domine.

Un déblai de 70 mètres de hauteur se terminant à zéro, à Tüsis, sur 15 kilomètres de longueur et sur une largeur moyenne de 1 kilomètre, aurait fourni plus de cinq cents millions de mètres cubes de matériaux qui, transportés au delà du défilé formant goulot d'écoulement, auraient certainement constitué un cône, une déjection alluvienne dans le bassin d'aval, où l'on retrouve encore et toujours la nappe régulière, le plan incliné, sans ondulations transversales ou longitudinales et se raccordant à la nappe du Rhin-antérieur (*Pl. 10, fig. 1*).

Si cette nappe d'ailleurs n'était qu'une portion d'un comblement alluvien autrefois plus puissant, on y retrouverait les caractères indiquant l'action des eaux; mais faut-il le répéter encore, les matériaux y sont distribués sans ordre; on n'y remarque aucunes traces d'anciens bancs de sables ou de

galets imbriqués arrangés et lavés par des courants, aucune traînée de blocs plus volumineux marquant la direction de la veine fluide ; c'est une accumulation de débris entraînés lentement, successivement, composant un dépôt soumis à une forte pression, et différent, sous tous les rapports, des remblais exécutés par des cours d'eau violents ou calmes, et ayant subi dans leur régime des variations plus ou moins fréquentes.

Dans le cas d'un comblement exécuté par les eaux, des matériaux rejetés par le Rhin et par le Schein se seraient accumulés au confluent de ces deux courants au pied du promontoire terminal des montagnes de l'Oberhalbstein ; et l'on retrouverait à ce point une terrasse alluvienne indiquant la hauteur de l'ancien dépôt, corrodé et balayé jusqu'au niveau de la surface actuelle de la nappe dans la direction des deux cours d'eau, et se raccordant à des terrasses latérales laissées sur les deux rives de la vallée, dispositions représentées par le croquis (*Pl. 10, fig. 7*), et entièrement contraires à celles du terrain (*Fig. 6 et pl. 11, fig. 1*).

Ce que l'on observe dans tous les bassins, fait voir que les profils des sections faites par un cours d'eau, dans un comblement, ne sont jamais réglés, comme l'indique la coupe (*Fig. 6*) de la planche 18, par terrasses successives, parallèles, mais que ces profils sont toujours irréguliers et semblables à ceux de la même planche (*Fig. 4 et fig. 5*).

Lorsqu'un glacier a occupé toute la largeur du

bassin, les moraines latérales sont rejetées sur le flanc des montagnes (*Pl. 10, fig. 8*), tandis qu'elles forment des terrasses latérales bordant la nappe profonde chaque fois que la retraite s'est opérée en même temps sur le front et sur les côtés (même *pl. Fig. 9, pl. 12, pl. 13, etc., etc.*).

Les premières traces des moraines frontales marquant les premiers temps d'arrêt de l'ancien glacier du Rhin paraissent à l'amont de Coire; ce sont des cônes composés de sables et de graviers, relevés au-dessus de la nappe profonde formant la base sur laquelle ils sont établis; leur élévation est d'environ 8 à 10 mètres (*Pl. 19, fig. 5*).

Sur la rive droite, une terrasse un peu plus élevée s'applique contre le flanc des montagnes et borde le bassin; elle a été coupée sur plusieurs points par des cours d'eau qui ont anciennement formé avec les débris enlevés à cette terrasse des cônes de déjections cultivées aujourd'hui, et dont la base décrit une courbe de niveau à la surface de la moraine profonde sur laquelle ils s'étalent.

A Feldberg, à droite et à gauche du Rhin, on voit deux nouveaux cônes probablement réunis autrefois et séparés par suite d'érosions exécutées par le fleuve. L'inclinaison de leurs talus est de 35°, et à la partie supérieure du cône de la rive gauche, les sables et les galets agglutinés forment une sorte de nagelflue (*Fig. 4*).

A l'amont, un cône de déjection torrentiel, en partie boisé, et sur lequel le village est construit,

vient se jeter jusqu'au Rhin ; les eaux en corrodent la base et y exécutent des affouillements qui permettent d'observer la structure intérieure du dépôt et de reconnaître qu'elle diffère essentiellement de celle des deux cônes, composés de menus matériaux entassés sans ordre.

Diverses proéminences coniques se relèvent à Ems au-dessus de la surface de la nappe, mais elles sont formées par des roches en place qui semblent usées et imparfaitement polies à l'amont, sous un revêtement de sables et de galets rappelant parfaitement les *moraines par obstacles des vallées des Vosges*. L'église de Tamins est bâtie sur un monticule de même forme et de même composition, et partiellement recouvert aussi de sables et de galets. Sur la rive droite, un cordon latéral de ces matériaux mêlés de blocs plus volumineux borde la moraine profonde (*Fig. 1 et 2*).

Enfin sur le plateau de Bonaduz, on voit les monticules coniques, au nombre de 8, dont j'ai déjà parlé; l'élévation de ceux-ci varie de 15 à 35 mètres.

Avant d'arriver à ce plateau, on observe à Reichenau le même dépôt latéral qu'à Tamins, mais vers le confluent des deux Rhins, le cordon latéral et le dépôt de terrain rapporté sur la pointe et contre les flancs de la montagne (*Abschwung*) séparant les deux vallées, est principalement composé de sables, de menus galets et de boue : il est entamé sur la droite par le Rhin-postérieur, tandis que le cordon de la rive gauche, placé hors de ses

atteintes, domine la nappe profonde au-dessus de laquelle il forme une terrasse élevée ayant un talus fort escarpé.

Sur cette rive, et vers la partie supérieure, on remarque diverses couches, une sorte de stratification, indices de l'action de l'eau; puis à mesure que l'on s'éloigne de la pointe de l'éperon en montant vers Bonaduz, ces couches disparaissent, l'amas devient confus, la grosseur des matériaux augmente, puis des blocs s'observent dans son intérieur et finalement à sa surface.

Ces cônes, ces terrasses latérales et la nappe profonde appartiennent à un ou à plusieurs dépôts; ce sont ou les restes d'un comblement autrefois plus puissant, et dans lequel le Rhin aurait creusé un large canal d'écoulement, ou des accumulations dues à l'action d'un ancien glacier, à peine dégradées par les eaux et conservées dans l'ordre qui leur a été primitivement imprimé, ou bien enfin des déjections alluviennes et erratiques produites dans les mêmes lieux par deux causes différentes, agissant, soit simultanément, soit successivement.

En admettant un comblement complet comprenant la nappe, les cônes et les cordons latéraux, il faudrait bien admettre aussi que les torrents latéraux exécutaient des transports en même temps que le cours d'eau principal, et que si toutes les déjections réunies dans un même bassin ont constitué une masse dont les cônes sont les témoins, les flancs des montagnes étaient entièrement dépouillés

de matériaux meubles à la fin de l'opération du comblement, et au moment où les courants, ne trouvant plus rien à transporter, ont commencé à creuser leurs canaux d'écoulement ; et dans ce cas on devrait rencontrer, sur les parties mises à sec du fond de l'ancien lit principal, des déjections de matériaux provenant d'éboulements ou d'une destruction plus récente des masses minérales, différant autant par leurs formes que par leur nature *du dépôt alluvien*, dans lequel, on le sait, on retrouve, sur un point quelconque, non des débris *de la localité*, mais des matériaux provenant *de l'amont, de tous les points de la vallée principale aussi bien que tous ses affluents*.

Je n'ai pas vu, dans la vallée du Rhin-postérieur, un seul cône de déjection composé *exclusivement* de matériaux arrachés aux masses minérales exposées à l'action des torrents : dans tous il y a mélange de galets et de blocs, provenant des localités d'amont, arrondis et polis, ou anguleux et partiellement frottés. On comprend qu'un torrent attaquant *un dépôt alluvien* y trouve les matériaux d'amont et puisse les mélanger à ceux qu'il reçoit de son cirque de réception ; mais ce que l'on ne comprend pas, c'est l'absence de ces derniers dans les cordons latéraux, et c'est la présence exclusive des galets provenant du haut de la vallée dans certaines accumulations barrant des vallées secondaires, que des torrents ne sillonnent pas, et dans lesquelles cependant des courants diluviens auraient dû pénétrer.

La masse des cônes de déjection ne donne pas toujours la mesure exacte de la force des torrents qui les ont produits, et il arrive souvent qu'un filet d'eau coule sur un cône immense, tandis qu'à l'issue d'un goulot d'un torrent impétueux, on remarque à peine quelques débris disséminés. Ce fait n'aurait rien d'extraordinaire, s'il s'agissait de vallées creusées dans des masses minérales différentes et offrant une résistance variable à l'action des agents destructeurs. Mais dans un même bassin, dans un même cirque, dans un massif de roches d'une composition uniforme, dans des conditions absolument identiques, cette observation a certainement une valeur incontestable, et démontre que si, dans tous les cas, on ne s'est pas trompé sur les véritables causes d'un fait géologique, on a presque toujours considérablement exagéré la force de ses causes.

Ainsi, dans la vallée du Rhin, le fleuve dans certains passages exerce inutilement son action sur des rochers qui résistent à tous ses efforts, dont il use lentement la surface, mais qu'il ne parviendrait pas à entamer quand même sa puissance se trouverait énormément augmentée. Et tout près de là, un ruisseau qui lui fournit un mince filet d'eau a produit d'immenses déjections, composées de débris arrondis et polis de ces mêmes rochers, matériaux portant les traces évidentes, irrécusables d'une action puissante et longtemps prolongée, et qu'un trajet de quelques centaines de mètres, dans

le goulot d'écoulement , ne leur eût pas permis d'acquérir.

La cause la plus faible aurait donc produit les effets les plus grands , et les résultats de l'action des courants seraient en raison inverse de leur puissance : le temps , la distance du parcours ne seraient plus des conditions essentielles , pour que des galets puissent acquérir ces formes arrondis , ce poli que l'on considérerait comme les preuves d'un transport dans le sein des eaux à de grandes distances , de chocs et de frottements subis pendant longtemps , puisque des matériaux les plus durs , arrondis et polis , se retrouvent indistinctement dans toutes les parties du bassin , à l'extrémité inférieure de la vallée , dans les vallons secondaires et *aux sources mêmes* des cours d'eau qui sillonnent ces cavités ; matériaux remaniés sur certains points par les eaux , mais que les courants ont trouvés sur place , transportés et façonnés par un agent qu'on ne saurait méconnaître , et qui a laissé sur tous les terrains qu'il a touchés des traces qui en révèlent la nature.

Si la nappe et les cordons latéraux ont fait à une époque quelconque partie d'un même massif , ceux-ci , à un point donné de la vallée , devraient offrir la même structure que la nappe ; et cependant leurs matériaux sont généralement plus volumineux , et le nombre des blocs anguleux y est plus considérable. A Tamins , par exemple , le cordon latéral est un amas de sables , de galets et de blocs de diverses formes , tandis que la nappe

inférieure n'offre que des sables et de petits galets. A Bonaduz, la nappe et les cônes sont entièrement dépourvus de ces blocs que l'on observe dans le cordon latéral et à sa surface, et cependant les débris les plus gros auraient nécessairement été distribués suivant l'axe du courant, et à partir de la fin de la Via-Mala jusqu'à Bonaduz, la vitesse du courant diminuant graduellement en raison de l'élargissement du bassin et à l'approche du confluent, le nombre et le volume des blocs auraient graduellement diminué aussi.

Les cônes de Coire, de Feldberg et du plateau de Bonaduz, ne sont ni des témoins de l'ancienne puissance des dépôts, ni des îles ou bancs graveleux formés dans le lit de l'ancien fleuve; leurs formes, les inclinaisons de leurs talus, l'absence de couches de galets imbriqués, ne permettent pas de les comparer aux proéminences que l'on observe dans le lit même du Rhin, au-dessous de Bâle, ayant à l'amont *des pentes très-douces généralement inférieures à un degré*, et se terminant en aval par des talus rapides de 25 à 55 degrés.

Les cônes dont il est question ont à l'amont, à l'aval et latéralement, à droite et à gauche 30 ou 35 degrés d'inclinaison; ils diffèrent donc essentiellement, et sous tous les rapports, des bancs alluviens. Ainsi un cône de 54 mètres d'élévation avec un degré de pente à l'amont aurait, entre le pied de la verticale passant par son sommet et son origine, 1,948 mètres de longueur de base, et au

lieu de la disposition représentée (*Pl. 10, fig. 4*), sa coupe offrirait celle de la *Fig. 5*, même planche, s'il s'était formé sous l'influence d'un cours d'eau.

En admettant à l'amont du plateau un comblement complet jusqu'à la cote 672, et une lame d'eau seulement de 34 mètres à Bonaduz, le Rhin aurait eu dans ces conditions une vitesse de 5,75 et un débit de 195,500 mètres cubes par seconde; on comprendrait jusqu'à un certain point que des bancs de sables se soient formés dans son lit; mais le fond de ce lit étant composé de sables et de menus graviers, n'aurait pu résister, il eût été entamé et la roche inférieure eût été mise à nu; les eaux ne pouvant dépasser une vitesse moindre, soit de 0,305 à 0,609 sans attaquer un fond de cette nature, les sables du terrain fertile de Bonaduz auraient été rejetés à l'aval. On y verrait dans tous les cas des sillons longitudinaux que cette nappe horizontale n'offre nulle part et qui existent sur toutes les parties du comblement que le Rhin touche ou a pu toucher à une époque quelconque. En jetant les yeux sur le profil (*Pl. 10, fig. 1 et 3*), on voit que le comblement suit une ligne de pente continue du confluent des deux Rhins jusqu'à la Via-Mala, et que la nappe, soit à l'amont, soit à l'aval du plateau, est d'une parfaite régularité; or, on ne voit pas de quelle manière le déblai du dépôt se serait fait sur 69 à 70 mètres mesurés du niveau de la surface de ce plateau, ou sur plus de 100 mètres mesurés du sommet du cône le plus élevé; le Rhin

s'étant abaissé au-dessous de la cote 672, après avoir partiellement creusé son lit, n'avait plus d'autre passage que le défilé bordé par les rochers escarpés de l'éperon du Bonaduz, et il devait y acquérir une vitesse plus grande, la section de son lit en cet endroit étant beaucoup plus faible qu'à l'amont. A la sortie de ce défilé il est très-probable qu'il aurait exécuté des remblais latéralement, plutôt que de corroder le comblement à une assez forte distance sur la gauche, où l'on retrouve la nappe profonde régulière et nivelée.

Veut-on maintenant admettre que la nappe de comblement à l'amont, à l'aval et sur le sommet du plateau est telle que le Rhin l'a établie, et que le comblement n'a pas rempli toute la profondeur de la cavité supérieure entre Bonaduz et Tüsis? Examinons ce qu'eussent été la vitesse et le débit du courant. La pente de la nappe étant de 0,0044, la section moyenne de la vallée, en supposant un cours d'eau passant à la cote 706, c'est-à-dire ayant 104 mètres de profondeur dans le bassin d'amont, serait de 104000, le périmètre mouillé de 1208. Dans ces conditions, la vitesse serait de 30 mètres par seconde, et le débit, dans le même temps, de 3,224,000 mètres cubes (1). Avec une telle vitesse

(1) Par minute, de 193,440,000.

Par heure, de 11,606,400,000.

Par jour, de 278,553,600,000.

Soit une lame d'eau de 1 mètre de hauteur sur 27,855,360 hectares par 24 heures.

le plateau eût inévitablement été balayé, et l'on n'y retrouverait aujourd'hui pas plus de traces de la nappe que des cônes.

Ces cônes ne sont pas des proéminences provenant d'un remaniement de la nappe, des renflements de ses matériaux produits par le mouvement d'un courant dans le lit d'un fleuve; ils reposent sur cette nappe et se relèvent brusquement au-dessus d'un plan régulier sur lequel ils ont été déposés par un agent qui, en exécutant ces remblais, maintenait et préservait leur base; et l'on trouve des exemples de faits analogues dans la région des glaciers actuels.

Rarement une moraine frontale entoure complètement le front d'un glacier et forme au pied du talus terminal un cordon continu d'une égale puissance.

Les moraines superficielles étant inégalement réparties à la surface de la glace et offrant sur divers points des lacunes ou des accumulations plus considérables de débris, les déjections frontales forment des groupes irréguliers, des remblais mamelonnés et souvent des buttes coniques réunies à leur base ou entièrement séparées et isolées, et dans le cas où il y a abondance de boue glaciaire, de sables ou de menus graviers fortement imprégnés d'eau, ces matières forment des espèces de coulées que les filets d'eau sortant du glacier délaient encore et entraînent, tandis que les sables mêlés à des galets et à des blocs demeurent en place et constituent

des mamelons coniques. Aux glaciers de l'Ober-Aar, de Wiesche, de Zmutt, du Rhône, on voit de nombreux exemples de ces dispositions. En amont de ce dernier, les anciennes moraines offrent plusieurs cônes isolés, résultant soit de l'inégalité des déjections, soit de l'action des eaux dont le cours se déplace incessamment et qui sillonnent la nappe profonde en diverses directions.

La *fig. 6, pl. 19*, représente l'un de ces cônes de la deuxième moraine frontale du Rhône. En 1848, les eaux qui s'écoulaient en partie par la coupure *A* se jetaient dans le courant principal, en amont, et l'espace compris entre les deux tronçons de la moraine était à sec. Aujourd'hui elles ont de nouveau pris cette direction et elles tendent à réduire la longueur du mamelon *B*. Au pied du talus terminal, il y a un grand nombre de petits cônes qui seront réunis en une ceinture circulaire ou séparés suivant le nombre et le régime des ruisseaux sortant du glacier.

L'action de ces ruisseaux est marquée sur la surface de la moraine profonde; leur passage est indiqué par des canaux peu profonds, mais comme la nappe n'est jamais entièrement recouverte par les eaux, son nivellement général ne subit aucune altération, et il demeure dans son ensemble tel que le glacier l'a exécuté. Ces petits canaux sont ordinairement comblés par des sables entraînés et déposés quand la vitesse des eaux diminue et quand elles vont se retirer. Aussi, à l'exception du lit

principal du Rhône creusé plus profondément, la moraine n'offre-t-elle que quelques dégradations à peine sensibles.

Des canaux semblables ont nécessairement existé sur le plateau du Bonaduz, mais sur un terrain meuble et cultivé ils ont dû facilement et promptement disparaître. Toutefois, une partie des eaux de fonte, les seules qui aient touché ce terrain élevé, que jamais le Rhin n'a pu atteindre, ont été dérivées *transversalement* vers la coupure terminale du plateau, et elles ont produit dans la nappe des excavations encore visibles aujourd'hui, en avant et en arrière du mamelon sur lequel s'élève le château de Razuns; leur direction normale à l'axe longitudinal de la vallée est donc en sens contraire de celles qu'elles affecteraient si leur production était une conséquence du passage du fleuve sur le sommet de ce promontoire.

Le dépôt latéral, à l'amont de Reichenau, sur la rive gauche et sur la pointe, ainsi que sur les flancs du promontoire (Abschwung) qui vient se terminer au confluent des deux vallées du Rhin, est, comme je l'ai indiqué, principalement composé de sables, de menus galets et de boue, tandis que la moraine latérale droite, au-dessous de Reichenau, renferme des galets et des blocs assez volumineux; si l'on suppose que la vitesse du Rhin-postérieur se soit ralentie à l'approche d'un courant plus puissant vers le confluent, et que des matériaux se soient arrêtés sur ce point, on devrait rencontrer

d'abord les blocs, puis les galets et les menus matériaux, successivement; et c'est précisément le contraire que l'on observe, et cette distribution inverse ne s'explique plus dans l'hypothèse d'une inondation.

Mais en comparant ce fait à ceux qui se produisent journellement sur les rives des glaciers, on comprend beaucoup plus facilement comment les choses se sont passées.

Au pied du promontoire, et sur la rive droite, en face, il y avait nécessairement deux petits lacs glaciaires; nécessairement puisque l'on observe dans ces dépôts des couches plus ou moins régulières indiquant le concours de l'eau. Les sables, les galets et la boue du glacier rejetés dans ces petits bassins ont pris cette disposition stratiforme que les remblais rejetés hors des atteintes des eaux n'affectent pas. Le dépôt de l'éperon est ensuite recouvert de blocs vers l'amont et les couches disparaissent: sur la rive droite, les matériaux de la moraine latérale, sans doute assez éloignés de la rive, ne pouvaient tomber dans le bassin et ne parvenaient à cette rive qu'après avoir contourné, pendant quelque temps, l'angle saillant du terrain opposé à l'éperon.

Le glacier de l'Aar offre l'exemple de dispositions analogues. Les moraines latérales du Lauter-Aar et du Finster-Aar viennent se joindre à quelque distance de l'Abschwung, au pied duquel se trouve un petit lac dans lequel les sables, la boue et les menus graviers tombent incessamment: les blocs, vers

l'aval, sont entraînés hors de la direction de cet enfoncement ; mais latéralement, et avant la jonction des deux moraines, les blocs touchant les parois des rochers se déposeraient à l'amont sur le dépôt stratifié, si le glacier venait à se retirer où à subir une forte ablation.

Sous le pavillon, à gauche, on a vu pendant longtemps un petit lac, envahi aujourd'hui par la glace (1850.), dans lequel les graviers et la boue s'accumulaient ; tandis que les blocs assez peu nombreux, transportés sur cette rive, étaient rejetés au pied du promontoire et au delà, mais ne parvenaient pas dans l'anse reculée occupée par le glacier.

Vers le milieu de la Via-Mala, on rencontre, dans un élargissement de la vallée, le village de Ronggella, bâti sur le côté gauche d'une moraine frontale interrompue par la coupure profonde au fond de laquelle coule le Rhin. Sur la rive droite, les rochers coupés à pic sont couronnés par la contre-partie de cette moraine, couverte partiellement par une forêt de sapins, et sur le flanc de laquelle une large échancrure permet d'examiner la nature du dépôt. C'est une accumulation de sables, de galets et de blocs amoncelés sans ordre.

On voit clairement ici combien l'hypothèse d'une inondation générale de la vallée est inadmissible. Le dépôt de transport dont je n'ai pu mesurer exactement la puissance s'élève approximativement à 100 mètres au-dessus des bords de la coupure.

Il est bien évident que, si les eaux du Rhin en

avaient jamais touché la base, tout cet amas, suspendu en quelque sorte sur un abîme, eût été ruiné et entraîné dans la plaine de Tuis; les blocs les plus volumineux seuls auraient pu s'arrêter et s'accumuler dans le fond de la crevasse, mais les sables et les galets eussent été immédiatement enlevés par un torrent d'une centaine de mètres de hauteur et ayant une effrayante rapidité, dans un goulot d'écoulement ouvert suivant une pente aussi forte que celle de la Via-Mala.

Avec une hauteur d'eau de 200 mètres, et en prenant pour le chiffre de la pente moyenne la différence de niveau du lit du Rhin, entre Pigneu et Tuis, sur 10 kilomètres, soit 272 mètres, et en supposant cette pente uniforme, sans les nombreux redans qu'elle offre en réalité, et qui sont autant de causes d'accélération dans l'écoulement, on aurait à la hauteur des moraines de Rongella une vitesse de 40^m,08 par seconde, et dans le même temps un débit de 400,800 mètres cubes. Ce volume d'eau serait encore insuffisant dans le cas d'une inondation à la hauteur des cônes de Bonaduz, si le Rhin devait fournir environ la moitié des eaux, et pour un débit de 5,224,000 mètres cubes à ce dernier point, il faudrait encore l'augmenter pour satisfaire à cette condition; mais que ce débit soit ou non trop faible, c'est une partie du problème que je n'ai pas besoin de discuter; ce qu'il importait de constater, c'était la vitesse de l'eau, et ce chiffre de 40 mètres par seconde démontre à lui seul

l'impossibilité d'un comblement de menus matériaux dans une gorge contre des parois abruptes, et sur la crête de rochers formant un étroit gradin précisément à l'amont d'un étranglement de la vallée.

Les cours d'eau sont à peu près aujourd'hui ce qu'ils étaient anciennement, toutes les augmentations qu'ils ont éprouvées autrefois dans leur volume pourraient être assez approximativement évaluées, en tenant compte des surfaces et de l'ablation des glaciers. Les coupures faites dans les moraines profondes indiquent les sections des plus hautes eaux dans toutes les localités, et, dans la vallée du Rhin-supérieur, les sections des canaux d'écoulements anciens et actuels n'offrent pas de bien grandes différences.

Le volume de ce fleuve a diminué graduellement à mesure de la retraite de l'ancien glacier; mais, même à l'époque où il avait toute la force que pouvaient lui procurer les eaux provenant de la fonte de la surface de glace d'amont, il n'a jamais franchi les limites marquées par les terrasses de la moraine profonde, demeurée intacte hors de ses atteintes, et nulle part on n'aperçoit de traces d'inondation ou de crues extraordinaires. Ainsi, avec 2 ou 3 mètres de sur-élévation, il serait venu battre en brèche les moraines latérales de l'Abschwung et de la rive droite, et il aurait renversé et étalé, sur la nappe profonde, les débris de ces dépôts qui n'offriraient pas la moindre résistance à un courant ayant même une vitesse moins grande que celle du Rhin près de

son confluent. Et l'on a vu ce qu'eût été cette vitesse si les eaux, à un moment quelconque, avaient pu s'élever au sommet du plateau de Bonaduz et à la hauteur des moraines de Rongella.

En continuant à remonter la Via-Mala, on aperçoit divers lambeaux de moraines latérales et des accumulations de blocs erratiques. Le village de Zillis est bâti sur une moraine latérale et frontale; le dépôt erratique se développe dans une anse que forme la vallée sur la rive gauche, et, à partir de ce point, les blocs deviennent successivement plus nombreux et plus volumineux.

Un peu plus haut, on parvient au bassin d'Ander où la vallée s'élargit, et dont le fond, à peine incliné, offre de nouveau une nappe profonde parfaitement réglée. (*Pl. 12, fig. 1.*)

Si l'on examine le terrain depuis ce village dont l'église est bâtie sur un mamelon de rochers faisant saillie au-dessus de la surface de la nappe, on aperçoit, vers la sortie de la Via-Mala, les moraines frontales et latérales situées à l'aval de Pigneu; sur la gauche, une immense moraine frontale sur un étage de laquelle se trouve une chapelle; puis enfin à droite, le village de Pigneu établi sur un énorme cône de déjection, formé de matériaux enlevés par les eaux à la moraine latérale droite.

Sur l'arête supérieure de ce cône, le torrent, après l'achèvement du remblai, ne trouvant plus de matériaux erratiques à transporter, s'est ouvert un lit qu'il tend à creuser, et dont il attaque incessamment

samment les berges : les produits de ces érosions, rejetés vers le Rhin, constituent une nouvelle déjection conique très-déprimée.

Les bases du cône principal et des moraines attaquées par le Rhin présentent des coupures que les eaux tendent à augmenter, mais qui, on peut le constater, résultent évidemment de l'action actuelle du Rhin variant dans des limites fort resserrées.

La surface de la moraine profonde est peu élevée au-dessus du niveau des eaux, et l'ouverture pratiquée dans les moraines frontales n'a qu'une très-faible largeur; il suffirait donc d'une crue de un à deux mètres pour donner lieu à des érosions considérables, et dans la nappe et dans les dépôts erratiques fermant presque entièrement la vallée, et situés à l'entrée de la gorge au sommet d'une pente très-inclinée.

On peut se rendre compte des effets qu'aurait produit un courant diluvien parcourant le bassin d'Ander et rencontrant des amas de sables, de galets et de blocs qui n'offrent aucune résistance à l'action du cours d'eau actuel; ce que celui-ci exécute sur une petite échelle eût été pratiqué en grand, et les accumulations, simplement corrodées à leur base en ce moment, eussent été entièrement culbutées et détruites. Le courant diluvien dont on aurait besoin pour expliquer les formations du bas de la vallée n'aurait pu couler dans le bassin d'Ander sans laisser des traces visibles de son passage, et ces traces n'existent pas; il faudrait donc admettre

qu'il a parcouru la contrée avant l'époque de la formation de ces dépôts, témoins irrécusables de l'action glaciaire, et qui prouvent en outre que, depuis leur distribution sur ce point, le Rhin n'a pas subi de crues extraordinaires; dans ce cas, il faudrait déterminer l'époque et les causes de l'apparition de ce courant, problème dont je crois devoir me dispenser de rechercher la solution, les faits qu'il s'agissait de constater étant parfaitement établis, et les dispositions du terrain démontrant clairement, 1° que le régime du Rhin n'a pas été modifié; que les augmentations causées dans son volume par la fonte de la glace n'ont pas été assez sensibles pour les porter hors des limites du canal d'écoulement creusé dans la moraine profonde; que les résultats de son action ancienne et actuelle se réduisent à quelques érosions des dépôts qu'il touche;

2° Que les accumulations des matériaux transportés, placés latéralement et transversalement, à l'amont de la gorge, n'ont été exécutés ni touchés par un courant plus considérable qui les aurait entraînés dans la Via-Mala;

3° Que les dépôts erratiques comprennent une moraine profonde, des moraines latérales et frontales entièrement différentes des déjections alluviennes représentées ici par le cône de Pigneu, moraine latérale remaniée après la retraite du glacier, puisque le cône recouvre la moraine profonde.

La route que l'on suit en quittant Auder pour se rendre au village de Bærenburg, monte d'abord

sur la moraine latérale droite, puis sur les flancs d'une proéminence granitique bordant transversalement la vallée et sur laquelle ce village est placé. (*Pl. 12, fig. 2.*)

Le glacier a dû franchir cet obstacle, offrant à l'amont des surfaces mamelonnées et polies et sur lesquelles des blocs erratiques sont éparpillés; à l'aval les traces de frottements disparaissent, mais au pied des rochers commence la moraine profonde formant une nappe interrompue par le passage du Rhin, se prolongeant jusqu'à la base des montagnes de la rive gauche et se raccordant au plan incliné du fond du bassin d'Ander. (*Pl. 12, fig. 3.*)

La coupure ouverte dans la nappe se termine par un talus régulier de plusieurs mètres de hauteur, rappelant sur une petite échelle les terrasses bordant le Rhin, entre Bâle et Neuf-Brisach : l'espace *DE* est le canal d'écoulement de l'époque glaciaire; aujourd'hui le Rhin n'occupe plus que l'emplacement *CD*, dont il n'est plus sorti depuis la retraite du glacier, le terrain *CE* parsemé de blocs étant gazonné ainsi que les talus des terrasses. La présence de ces blocs, dont quelques-uns n'ont que de faibles dimensions, fait voir en outre que le Rhin, à l'époque glaciaire, n'avait pas une grande énergie, puisqu'il n'a déplacé que des sables et des galets, et qu'il a laissé à la surface du terrain qu'il recouvrait des blocs qu'un torrent eût facilement déplacés. Cependant la masse principale des eaux était réunie sur ce point situé à la sortie d'un défilé profond et étroit, les débris

erratiques abandonnés sur les rochers du Bærenburg en sont une preuve.

Après avoir franchi les proéminences du Bærenburg, on parvient au défilé de la Rosla, à l'entrée duquel on trouve, à quelques mètres au-dessus du niveau du Rhin, et sur le bord même de la route, des rochers en place polis et striés, traces incontestables du passage de l'ancien glacier; la vallée étant extrêmement resserrée en cet endroit, une crue de quelques mètres aurait amené les eaux au niveau des stries et elles eussent certainement été exposées à l'action du courant, si le bassin d'Ander avait été inondé au niveau des petites terrasses de la moraine profonde seulement; la conservation du poli et des stries prouve donc que l'action diluvienne serait antérieure à l'époque d'extension des glaciers, et j'ai déjà eu occasion de remarquer que rien dans le bassin inférieur n'y révèle le passage soit antérieurement, soit postérieurement, de courants plus puissants que les cours d'eau actuels grossis par les eaux d'ablation.

Vers le milieu du défilé on rencontre un élargissement du bassin et un comblement régulier, à la surface duquel des blocs sont éparpillés; à droite un cône de déjection peu incliné formé aux dépens d'une moraine latérale et composé de blocs façonnés et arrondis mêlés de sables, dont la présence sur les bords du Rhin ne permet pas de supposer une débâcle diluvienne.

Quand on a quitté cette gorge qui se resserre de

nouveau pendant quelque temps à l'amont de ce dernier point, on parvient au bassin de Suvers. Ce village est bâti sur la moraine latérale gauche relevée au-dessus de la nappe profonde parallèlement au cordon latéral de la rive droite (*Pl. 15*); en outre une partie du village est assis sur un des deux cônes placés sur la moraine, séparés par une large coupure à la sortie du goulot d'écoulement d'un torrent. Ces cônes fortement inclinés ont leurs sommets appuyés contre les parois du bassin principal; leurs arêtes supérieures sont des lignes de pente régulière marquant le raccordement légèrement arrondi de talus opposés ayant une inclinaison moyenne de 55° , qui se réduit vers la base, formant une courbe de raccordement à la surface de la moraine supportant ces dépôts.

Ces cônes sont les moraines latérales d'un petit glacier qui, sorti de la gorge où il était renfermé, s'est avancé sur le dépôt erratique de Suvers (1); la coupure ouverte dans ce dernier et dans l'axe du goulot, au point de jonction des plans inclinés intérieurs des deux cônes, indique la force ancienne et actuelle du torrent, et fait voir qu'il n'y a pas eu ici de déjection, et que le cours d'eau n'a produit que des érosions et quelques transports de menus matériaux jusque dans le lit du Rhin.

A l'aval du village, un cône de déjection étalé

(1) J'ai indiqué ailleurs les dispositions analogues de moraines latérales anciennes et actuelles.

sur la moraine latérale est formé de matériaux erratiques d'un étage supérieur et de l'époque de la plus grande extension ; la présence de cet amas pourrait faire supposer que les deux autres cônes dont il est question ne sont que les ruines d'un amas plus considérable exécuté autrefois par le torrent, mais on comprend bien vite l'impossibilité de s'arrêter à cette hypothèse, si l'on considère les formes et la disposition des talus ; surtout quand on voit les sommets de ces cônes situés en dehors du goulot et appuyés contre les parois de la montagne : enfin quand on cherche à reconstruire un amas qui les comprendrait dans sa masse, en décrivant la courbe d'un cône, même assez déprimée, de l'un à l'autre, cette courbe masque une large partie de la vallée ; et si l'on réduit l'inclinaison de l'arête, même au-dessous de celle des deux dépôts, on s'aperçoit que le comblement aurait dû remplir toute la gorge jusqu'au bassin de réception, et qu'un torrent imaginaire coulant à la partie supérieure de cet immense lit de déjection aurait dû ouvrir une large coupure dont on ne voit pas de traces dans la moraine de Suvers, et principalement emporter la partie saillante barrant l'issue du goulot et que le cours d'eau réel a respectée et contournée.

A l'amont du pont de Suvers, la moraine forme un contour indiquant une station de glacier et un barrage frontal ; la nappe régulière dans son ensemble, recouverte de blocs éparpillés, a été sillonnée et corrodée en divers sens par le Rhin.

Sur la rive droite, la route passe sur la moraine latérale dans laquelle on trouve de nombreux galets polis et *striés*; elle est ensuite établie sur la rive gauche en avant de Splugen, au pied de rochers couverts de blocs et de débris erratiques.

A ce dernier point, la nappe profonde est recouverte partiellement par un immense cône de déjection sur lequel sont établis les premiers gradins de la route du Splugen; et le village est bâti sur la moraine latérale gauche composée de sables et de cailloux agglutinés et formant une sorte de nagelflue.

A partir de ce village, la moraine profonde est bordée des deux côtés de la vallée par des cordons latéraux, et elle offre quelques redans ou étages successifs à talus transversaux; les cônes que l'on observe, à droite et à gauche, s'étalent toujours à sa surface et la recouvrent; il y en a de diverses époques, d'anciens, de modernes et de formation récente ou actuelle.

Entre Nufenen et Hinter-Rhein, la vallée offre un dernier étranglement, à la suite duquel on voit un nouveau bassin qui se prolonge fort haut et se termine à peu de distance de la source du Rhin; ce bassin est fermé inférieurement par une moraine frontale à plusieurs étages et dans laquelle une étroite coupure, suffisante pour le libre passage des eaux du Rhin, aurait besoin d'un élargissement considérable si le Rhin devait fournir une part proportionnée à l'étendue de son bassin pour inonder le plateau du Bonaduz.

En face de Hinter-Rhein, et à l'amont à gauche, on remarque des cônes d'éboulement erratiques ayant tous les caractères de ceux que j'ai signalés dans la vallée de Zermatt à Randa, cônes très-inclinés, à la surface desquels les eaux provenant de ruisseaux intermittents ont creusé leurs lits en déplaçant quelques matériaux dont ils ont formé de petits cônes de déjection étalés sur la moraine profonde à la base de ces éboulements. La figure 1 de la planche 15 représente celui de ces amas contre lequel vient s'appuyer un pont destiné à la communication entre le village et les chalets disséminés sur la droite de la vallée.

Ces éboulements erratiques se forment encore sous nos yeux dans le haut de la vallée.

Un glacier latéral de la rive droite descendant du Vogelberg, et qui ne parvient plus jusqu'au niveau du Rhin, se divise en deux branches. Latéralement à droite sa moraine constitue une nappe d'éboulement; entre ces deux branches, la moraine médiane et frontale est un grand cône dont l'arête supérieure est gazonnée en partie et sur les flancs duquel tombent les matériaux actuellement rejetés. Si le glacier venait à disparaître, on ne comprendrait pas à quelle cause ce dépôt devrait être attribué; mais, sans aucun doute, s'il était placé dans un pli du terrain, on y verrait à tort une déjection torrentielle. C'est une de ces moraines médianes et frontales dont j'aurai à citer plusieurs exemples remarquables, dans un travail que je me propose de publier

prochainement sur les formations erratiques de la Suisse.

Dans ces derniers cirques, les moraines latérales forment plusieurs cordons étagés dans lesquels des coupures ont été faites par les eaux à des profondeurs variables, aussi les déjections ou les cônes de matériaux erratiques remaniés sont-ils établis, soit sur la moraine profonde, soit sur l'étage inférieur de la moraine latérale. A Hinter-Rhein même, on voit des exemples de ces diverses dispositions.

Quelquefois les moraines latérales forment des terrasses dont les surfaces supérieures peu inclinées dans le sens de la vallée, et transversalement, se trouvent placées au même niveau, ou à peu de chose près, de chaque côté du bassin. Cette disposition, citée comme une preuve de la continuité ancienne de ces cordons, marquant la hauteur d'un comblement complet dans lequel un large canal d'écoulement a été creusé par les eaux, est un fait qui s'explique sans qu'il soit nécessaire de recourir à des hypothèses et dont nous avons un bel exemple dans le terrain erratique ancien de la vallée de la Moselle, entre Remiremont et la moraine frontale de Longuet : il se remarque en outre dans certaines moraines terminales de la même localité, et il est la conséquence d'un retrait graduel et régulier sur le front et sur les rives de la masse de glace (1).

(1) *Terrain erratique des Vosges* (Pl. 14).

Dans les divers dépôts que je viens d'examiner, on ne trouve donc aucune trace d'un comblement diluvien antérieur ou postérieur à l'époque glaciaire ; la conservation des moraines latérales et des amas de sables et de graviers barrant presque entièrement certains passages resserrés ne permettent pas d'admettre que les glaciers se soient subitement retirés, en produisant des courants diluviens.

Les traces irrécusables de leur présence sur des points éloignés de la région qu'ils occupent aujourd'hui, les blocs erratiques, les moraines, les galets et les roches striées sont des preuves de leur ancienne extension : au nombre de ces témoins laissés sur le sol, j'ai cru devoir, ainsi que je l'ai exposé, ranger les nappes de comblement en leur donnant la qualification de moraine profonde. La production de ces nappes, supportant les moraines frontales et latérales, ne saurait évidemment être rapportée à une époque plus récente ; déjà j'ai eu occasion de le faire remarquer à diverses reprises (1), et je compléterai prochainement mes observations à cet égard sur les formations erratiques.

Il ne reste plus que l'hypothèse d'un diluvium antérieur à l'époque glaciaire, et dont les nappes de comblement indiqueraient les effets et fourniraient la preuve ; mais, on l'a déjà vu, pour résoudre le problème et démontrer l'existence d'une formation

(1) *Terrain erratique des Vosges, du Haut-Valais, de la vallée du Hasli, etc., etc.*

diluvienne, de la source du Rhin à Bingen, par exemple, il faudrait non-seulement recourir à des hypothèses, mais encore rechercher des preuves matérielles qu'on ne saurait fournir.

Que l'on admette la production à un moment donné des courants parcourant les vallées, sans chercher même à deviner la cause, sans s'arrêter à la difficulté d'en expliquer l'alimentation, on n'aura encore imaginé que la cause, et il faudra examiner, quelle que soit sa durée et sa puissance, si elle a pu produire les effets qu'on se plaît à lui attribuer.

Les cailloux, les blocs et les galets offrent des formes qu'il semblait autrefois impossible d'attribuer à une autre cause que l'eau. En parcourant un trajet plus ou moins long dans un courant, les débris des masses minérales avaient dû subir des chocs et des frottements à la suite desquels les uns avaient été réduits en sable, les autres avaient perdu leurs angles et s'étaient arrondis et polis. Et ces cailloux, ainsi façonnés, étaient les indices certains et caractéristiques des dépôts diluviens.

Mais on sait aujourd'hui que des cailloux arrondis et polis se trouvent dans les moraines anciennes et actuelles, aussi bien que dans les nappes de comblement. Et l'on voit dans ces dernières ces cailloux *associés*, non-seulement à des débris anguleux à surfaces brutes ou portant à peine quelques traces de frottements, mais encore au lehm, à la boue glaciaire qui n'a pu précéder les glaciers, qui ont seuls la faculté de la produire.

Les cailloux du comblement de la plaine d'Alsace ont parcouru, en franchissant les lacs qui s'opposaient à leur passage, un long trajet que, cependant, on ne croit pas encore assez considérable pour que les cailloux de quartz et des roches les plus dures se soient arrondis et polis en roulant des sommités des Alpes jusqu'aux extrémités de la nappe. On pense que préalablement ils ont dû subir une préparation dans les eaux de grands lacs ou dans la mer avant le commencement de l'époque quaternaire; de quelle façon et en quels lieux ce travail se serait-il exécuté? c'est ce que l'on ne dit pas.

Les galets *anguleux* n'auraient donc pas été soumis à la même influence, ils auraient été ajoutés ensuite et au moment de la débâcle, et ils auraient *roulé*, sans s'émousser, sans s'arrondir, sans éprouver des chocs et des frottements dont rien cependant ne pouvait les préserver pendant leur longue course sur un terrain accidenté. Mais à la source même du Rhin, dans le premier comblement, à quel dépôt le torrent aurait-il enlevé ces cailloux arrondis à l'avance, dans quel écart de la vallée une mer inconnue aurait-elle entassé ces matériaux préparés et réservés pour le diluvium?

Les glaciers usent, arrondissent et polissent sur place les débris des rochers, quelles que soient leur résistance et leur dureté. Ils les rejettent dans les moraines frontales et latérales et les enfouissent dans les moraines profondes, en les mélangeant à des sables de trituration, à des galets ébauchés ou

anguleux, généralement enduits de boue glaciaire; et cet enduit nous fait voir que les éléments de ces nappes pénétrées par les eaux du glacier n'ont été ni lavés ni charriés par des courants.

Ce travail incessant des glaciers peut être facilement étudié, vérifié et suivi : dans ses détails, dans son ensemble, dans toutes ses phases on reconnaît la série non interrompue des faits que j'ai signalés en donnant cette esquisse incomplète des dépôts erratiques de la vallée du Rhin; les effets produits au contact de la glace sont identiques à ceux qui, à une époque reculée, se produisaient sur les terrains situés en dehors de la région actuelle des glaciers en activité. Si les mêmes effets dérivent de la même cause, les rapprochements que j'ai établis sont nécessairement vrais, et mes conclusions sont exactes.

Enfin, en m'arrêtant aux faits et aux conséquences que l'on peut en déduire, je terminerai en donnant le tableau des divisions que l'on observe dans les terrains superficiels de la vallée du Rhin postérieur, absolument dans le même ordre que dans toutes les autres vallées de la Suisse, où l'on voit, savoir :

- 1° Des formations inférieures ou plus anciennes, ou terrain *erratique* ancien et actuel, comprenant,
 - a. Les moraines profondes (nappes de comblement);
 - b. Les moraines frontales;
 - c. Les moraines latérales dont le niveau s'est abaissé graduellement des sommités vers le fond des

vallées, à mesure de la retraite et de l'abaissement de la surface des glaciers ;

- d.* Cônes d'éboulement glaciaires, moraines latérales et frontales des glaciers secondaires, parvenant jusqu'au glacier principal ou suspendus sur les flancs des montagnes.

2° Des dépôts alluviens (anciens et actuels) dus à l'action des eaux, supérieurs aux dépôts erratiques, et dont la production a eu lieu à mesure de la retraite des glaciers sur les terrains successivement dépouillés de leur manteau de glace, savoir :

- a.* Les cônes de déjection des terrains formés exclusivement des débris remaniés des dépôts erratiques ;
- b.* Cônes de déjection formés de débris provenant de dépôts erratiques et de la destruction des masses minérales des bassins de réception ;
- c.* Cônes de déjection uniquement dus à l'action des torrents, sans mélange de matériaux erratiques. Ces divers cônes sont anciens, récents ou actuels et toujours superposés aux dépôts erratiques, et étalés dans les vallées à la surface des moraines profondes ;
- d.* Enfin les remaniements, les déplacements exécutés par les eaux courantes, des matériaux appartenant à ces diverses formations, dans les lits ou sur les rives des cours d'eau ; les dépôts tourbeux anciens ou actuels.

POST-SCRIPTUM.

J'ai conservé pendant bien des années , sans les publier , les observations qui précèdent , persuadé qu'une inévitable réforme de la *Théorie diluvienne* les rendrait inutiles ou superflues.

Mais divers mémoires publiés , récemment encore , sur les dépôts de comblement , m'ont fait comprendre la nécessité de revenir de nouveau sur une question qui , depuis longtemps , aurait reçu une solution définitive , si les géologues , abandonnant le champ des hypothèses , avaient pris le parti de revenir à l'étude des faits et des causes , en se dégageant enfin de la fatale influence des idées préconçues.

La théorie diluvienne , il faut cependant bien le reconnaître , est d'une élasticité extrême , et son application à tous les phénomènes si compliqués des formations superficielles est d'une simplicité telle ,

qu'elle a dû avoir autrefois , et qu'elle doit conserver aujourd'hui , de fervents partisans.

Tous les dépôts superficiels , les comblements , les revêtements des flancs des montagnes et des plateaux élevés , les anciennes moraines et les blocs erratiques , étaient , il n'y a pas encore bien longtemps , des preuves de l'action des courants , calmes ou violents , qui , à partir de la fin de l'époque tertiaire , avaient parcouru les vallées et sillonné les montagnes.

Mais à partir de 1854 , lorsque , pour la première fois , M. de Charpentier vint annoncer aux naturalistes Suisses , réunis à Lucerne , qu'après vingt années de recherches et d'études , il avait reconnu les traces et les preuves de l'ancienne extension des glaciers , en dehors de l'enceinte des Hautes-Alpes , et malgré l'opposition que devait provoquer cette déclaration inattendue , on a dû cesser de comprendre dans les dépôts diluviens les blocs erratiques , les anciennes moraines et une partie des comblements des hautes vallées ; et les géologues , amenés à reconnaître l'évidence des faits et des preuves , ont commencé à considérer ces dépôts superficiels comme des formations *d'origine exclusivement glaciaire*.

Les terrains diluviens , considérablement réduits , ne devaient plus provisoirement comprendre que les nappes de comblement des vallées inférieures , en dehors des limites arbitrairement fixées aux contrées envahies autrefois par les anciens glaciers.

La formation de ces comblements inférieurs semblait alors s'expliquer naturellement : la plus grande partie des montagnes des Alpes ayant été recouverte par de puissants amas de glace et de neige, on pouvait supposer qu'au moment où les glaciers s'étaient retirés vers les contrées où ils sont confinés aujourd'hui, les cours d'eau, énormément grossis par suite d'une fonte subite, possible ou impossible, avaient entraîné et déposé au loin les matériaux, sables, galets et blocs, probablement préparés à l'avance par les glaciers et entassés à leurs pieds.

Alors le *diluvium* était considéré comme un phénomène *post-glaciaire*, et, par conséquent, *supérieur* aux formations erratiques.

Mais bientôt la nécessité de modifier cette théorie si simple se fit impérieusement sentir : la parfaite conservation des moraines frontales, les dimensions restreintes des sections des cours d'eau qu'elles ferment, bordent ou retiennent, ne permettaient plus d'admettre une fonte subite des glaces. D'un autre côté, les comblements des hautes vallées et ceux des bassins inférieurs n'offrant entr'eux aucune différence appréciable, il fallait bien reconnaître qu'ils appartenaient à un même ordre de dépôts. Et, enfin, attendu qu'ils se liaient intimement les uns aux autres, et qu'ils *étaient recouverts* par les *anciennes moraines*, par les *nappes de blocs éparpillés*, par les cônes de déjection des torrents de l'époque glaciaire et actuelle, on ne pouvait plus songer à les séparer et surtout à les placer dans

l'échelle géologique *au-dessus du terrain erratique*. Aussi, tout en conservant la qualification de dépôts diluviens, ils furent rangés immédiatement dans les formations inférieures, en perdant tout simplement la dénomination de *post-erratiques*, pour prendre celle d'*anté-erratiques*.

La disparition et la fonte subite des anciens glaciers n'étant pas admissibles et cessant d'être nécessaires, puisqu'il s'agissait dorénavant d'un phénomène *antérieur*, on a admis d'un commun accord qu'ils s'étaient lentement et graduellement retirés jusque dans les limites de leur domaine actuel.

Mais il restait à expliquer le transport des immenses dépôts diluviens jusqu'aux extrémités des grandes vallées sortant des Alpes et suivant tant de directions diverses : et sans délai, sans nouvelles recherches, on s'est hâté de mettre, *sous les moraines*, ce qu'on avait d'abord mis *dessus* et de donner la théorie suivante :

Avant l'époque glaciaire, à un moment quelconque, les montagnes et les plaines ont été sillonnées et envahies par *des courants diluviens*.

Ces courants, tantôt calmes, tantôt violents, faibles ou puissants, suivant les besoins, ont comblé les bassins inférieurs, ont appliqué sur les flancs des montagnes ou étalé sur les plateaux élevés des revêtements composés de sables, de galets et de détritiques qui n'avaient pas la propriété de tomber ou de descendre dans le fond des bassins.

Dans les Alpes, par exemple, des courants énormément puissants coulaient au nord, au sud, à l'est, à l'ouest et dans toutes les directions intermédiaires pour combler les bassins du Rhin, du Rhône, du Pô, etc., etc..... Ces courants s'élevaient au-dessus du fond des vallées, de 10, 20, 50, 100, 400, 500, 600 mètres et plus : ils n'agissaient pas continuellement avec la même violence : leurs cours pouvaient subir des intermittences et se trouver même presque entièrement suspendus. Ainsi, après le comblement des bassins inférieurs, ils se sont ralentis pour opérer les revêtements étalés sur les flancs des montagnes, sur les plateaux, et ils avaient un régime tellement exceptionnel et contraire à toutes les lois connues de nos jours, que leurs *vitesse*s pouvaient diminuer à mesure qu'ils s'élevaient davantage et que le volume de leurs eaux augmentait.

Puis à un certain moment leur concours étant devenu inutile, ils se sont abaissés et réduits ; les transports lointains ont cessé, et des courants, sortant des chaînes latérales, se sont produits tout à coup, pour recouvrir les comblements alpins de formations locales, par exemple de débris entraînés des Vosges sur la rive gauche du comblement du Rhin, et de la Forêt-Noire, sur la rive droite.

Enfin, ces comblements inférieurs, *le diluvium*, renfermant des galets et des blocs anguleux, polis et striés, recouvrant des roches polies et striées, offrant dans toutes leurs masses, et de bas en haut,

comme élément constitutif, du lehm ou boue provenant de la trituration des roches par les glaciers, seraient cependant, à ce qu'on assure, des dépôts antérieurs aux dépôts erratiques ou glaciaires.

Si cette théorie est vraie, elle fera seule son chemin, et quoiqu'on puisse dire, les démonstrations ne sauraient faire défaut : et ce sont ces démonstrations dont nous avons besoin pour nous décider à reconnaître et avouer hautement que *des dépôts renfermant des galets striés, des matériaux que les glaciers seuls ont la propriété de façonner, ont cependant pu se former quand ces glaciers n'existaient pas encore à la surface de la terre.*

Peut-être alors admettrons-nous encore, ce qui serait tout aussi vraisemblable, que la formation des galets alpins, débris incontestables des roches des Alpes, *a précédé* et non suivi celle de ces roches, dont, cependant, ils proviennent sans aucun doute.

1^{er} Décembre 1858.

TABLE

ET EXPLICATION DES PLANCHES.



Planche 1^{re}. — Terrain erratique du bassin du Rhin.

Fig. 1. Coupe de Sultz à Grisheim.

Fig. 2. Coupe de Bellingen à Thann.

Fig. 3. Coupe de Bâle au ballon de Saint-Maurice.

Fig. 4. Juxtaposition des comblements de la Byrse et du Rhin.

Fig. 5. Superposition des comblements de la Wiese et du Rhin.

Fig. 6. Coupe entre l'Ochsenfeld et le Petit-Kembs : relations des comblements du Rhin et des Vosges.

Planche 2.

Fig. 1. Vue de la vallée du Rhin, près de Bellingen.

Fig. 2. Proéminences, bancs et îles du lit du Rhin, à la hauteur de Bellingen.

Fig. 3. Coupe du lit du Rhin.

Fig. 4. Coupe du comblement du Rhin, entre Schlierbach et le Petit-Kembs.

Fig. 5. Terrasses étagées *imaginaires* produites dans les comblements par suite de réductions successives des courants diluviens.

Fig. 6. Nappe de comblement au débouché de la vallée de la Thur, entre Thann et Cernay.

Fig. 7. Coupe et profil longitudinal de cette nappe.

Fig. 8, 9 et 10. Coupes transversales prises à Thann, au Vieux-Thann et à Cernay.

Fig. 11. Disposition qu'aurait prise ce comblement s'il s'était produit sous l'influence de torrents ou de courants diluviens.

Fig. 12 et 13. Coupes des bancs de graviers à galets imbriqués, observés dans le lit du Rhin.

Fig. 14. Coupe du lit du Rhin et des bancs de gravier dans les environs d'Istein.

Fig. 15. Coupe d'une portion de la nappe de comblement du Rhin, dans les environs de Mulhouse.

Fig. 16 à 22. Galets erratiques enduits de lehm, disséminés dans cette nappe.

Fig. 23 à 31. Galets du comblement du Rhin.

Planche 3. — Coupe de l'ancien glacier et du comblement de la Moselle, prise à la hauteur de Châtel (Vosges).

Planche 4. — Dépôts erratiques de la Meuse.

Fig. 1. Coupe d'un dépôt erratique latéral, observé dans la vallée du Mouzon.

Fig. 2. Vue de l'éperon de Villars, A, au confluent des vallées du Bany et du Mouzon.

Fig. 3. Coupe passant par le sommet A de cet éperon recouvert par un dépôt erratique.

Fig. 4. Croquis des rochers de Saint-Mihiel.

Fig. 5 et 6. Sillons et karren de l'époque glaciaire, que l'on remarque sur ces rochers.

Fig. 7. Coupe prise suivant la vallée de la Moselle, entre Igney et Toul, et prolongée transversalement de la Moselle à la Meuse.

Planche 5. — Moraine profonde du glacier de l'Aar.

Fig. 1. Coupe prise au premier pont de l'Aar, à l'amont du Grimsel.

Fig. 2. Rocher moutonné et poli à l'amont, et à surface écaillée latéralement, *au-dessus* et *au-dessous* du niveau de la nappe de comblement, près des Huttes, de l'Aar-Boden.

Fig. 3. Rochers à arêtes non émoussées, bordant le lit de l'Aar.

Fig. 4. Rochers anguleux, moraines et blocs à la sortie du défilé de l'Aar, à l'amont d'Im-Grund.

Fig. 5. Coupe longitudinale de la vallée de l'Aar, entre le glacier actuel et l'ancienne moraine frontale fermant le défilé à l'aval de Røeterischboden.

Fig. 6. Nappe de comblement et grand cône de Meyringen.

Planche 6. — Comblement et moraines de l'Allée-Blanche.

Fig. 1. Relations des comblements alpins des Vosges et de la Forêt-Noire.

Fig. 2. Coupe *imaginaire* des dépôts superficiels de l'Allée-Blanche, *donnée* par M. E. Collomb.

Fig. 3. Coupe indiquant les relations *réelles* de ces dépôts.

Planche 7. — Comblement et moraines du bassin du Pô.

Fig. 1, 2 et 3. Cônes de déjection, superposés au dépôt de comblement.

Fig. 4. Coupe de la colline de Turin à Avigliana; moraines de Rivoli; blocs et comblement erratique.

Fig. 5. Moraines de Rivoli, au débouché de la Doire, vues d'amont.

Fig. 6 et 7. Dispositions qu'offrirait le comblement, sous les anciennes moraines, s'il s'était produit antérieurement et avant l'époque glaciaire.

Fig. 8. Moraines de Rivoli et cône de déjection de la Stura, vus de la colline de Turin.

Fig. 9 et 10. Coupes du comblement entre Avigliana et Turin, entre Turin et Lanzo, et indication des pentes et des relèvements qu'offrirait un *dépôt diluvien*.

Fig. 11. Coupe du comblement entre les vallées de la Bormida et du Tanaro et le Lac-Majeur : (anciennes moraines d'Oleggio).

Fig. 12, 13 et 14. Cours du Pô et *relèvements alluviaux* de son lit.

Fig. 15. Coupe d'Ivrée à la colline de Turin, par le lac de Candia et les anciennes moraines situées au débouché de la Dora-Baltea. (Moraine d'Ivrée.)

Planches 8 à 23. — Dépôts erratiques de la vallée du Rhin postérieur.

Planche 8.

Fig. 1. Nappe profonde de la Linth à Benken.

Fig. 2 et 3. Plan et coupe de cette nappe à l'amont et à l'aval de la proéminence bornant partiellement la vallée entre Maseldrang et Benken.

Planche 9. — Plateau de Bonaduz vu d'amont en sortant de Razuns : nappe et cônes erratiques : (le Rhin coule dans la coupure au pied des rochers sur lesquels est bâti le château de Razuns, indiqué sur la droite du croquis).

Planche 10.

Fig. 1^{re}. Coupe du plateau de Bonaduz suivant l'axe de la vallée :

A A. Moraine profonde.

B B. Moraines latérales.

B'. Blocs erratiques.

C C. Cônes erratiques; reste d'une moraine frontale.

D. Cône de déjection (moraine latérale remaniée par un torrent).

Fig. 2. Croquis du mamelon et du plateau de Bonaduz, vus d'amont.

Fig. 3. Coupe de Tüsis au confluent des deux Rhins, par ce plateau.

Fig. 4. Coupe du cône le plus élevé.

Fig. 5. Forme présumée d'un cône de même hauteur établi dans le lit d'un courant, d'après l'observation des bancs aluviens du lit actuel du Rhin.

Fig. 6. Croquis du bassin au confluent du Rhin et du Scheim sous la Via-Mala et Tüsis.

Fig. 7. Dispositions que devrait offrir le comblement dans

le cas où il aurait été primitivement plus puissant ; les cours d'eau actuels seraient encaissés dans des canaux bordés de terrasses.

Fig. 8. Relations du comblement inférieur *A* et des moraines latérales *BB* sur les points où le glacier occupait toute la largeur de la vallée.

Fig. 9. Relations des mêmes dépôts quand le glacier ne recouvrait plus entièrement la moraine profonde. Dans ce cas les moraines latérales *BB* constituent ce que l'on nomme les *terrasses parallèles*, considérées comme les restes d'*alluvions plus considérables*, et dans la masse desquelles des canaux d'écoulement à fonds plats auraient été creusés, après l'achèvement du comblement général des bassins, au moment où la force et le volume des courants diluviens diminuaient graduellement.

Planche 11.

Fig. 1. Nappe profonde régulière à la sortie de la Via-Mala et recouverte par un cône de déjection d'un vallon latéral à Tuisis.

Fig. 2. Moraine frontale dans un élargissement de la Via-Mala à Rongella : le Rhin coule au fond de la coupure ouverte dans les rochers que recouvre ce dépôt erratique.

Planche 12.

Fig. 1. Moraine profonde, moraines latérales et frontales et cône de déjection de Pigneu, bassin d'Ander.

Fig. 2. Bærenburg, amont d'Ander, moraine profonde formant des terrasses indiquant les anciennes limites du Rhin ; à gauche, la route est établie sur la moraine latérale (rive droite).

Fig. 3. Coupe du mamelon de Bærenburg ; surfaces polies

et blocs erratiques à l'amont ; au pied à l'aval, coupe de la moraine profonde et de la section de l'ancien lit du Rhin.

Planche 13. — Moraine latérale gauche du glacier du Rhin à Suvers : de chaque côté de la gorge, située à l'amont du village, on voit les moraines d'un ancien glacier latéral.

Planche 14. — Hinter-Rhein : au fond, moraine frontale ; à gauche, la moraine latérale conservée et recouverte de cônes, débris remaniés de dépôts erratiques du flanc supérieur de la vallée ; à droite, divers cônes s'étalent sur la moraine profonde ; la moraine latérale démantelée se retrouve en lambeaux sur quelques repos du terrain qui est très-accidenté de ce côté.

Planche 15.

Fig. 1. Cône erratique : près du pont inférieur d'Hinter-Rhein, à la suite d'une coupure creusée dans ce dépôt par un faible ruisseau périodique, on voit un petit cône de déjection formé par les eaux.

Fig. 2. Fin de la nappe profonde du Rhin à quelque distance en avant du glacier. Cône de déjection formé par les eaux à l'origine de cette nappe.

Planche 16. — Lungern : A A, moraine profonde. B B, Cônes ou moraines latérales remaniées par les eaux. C, Cône de déjection ancien du Wylerhorn (ancien delta du lac). D, cône de déjection actuel à l'issue de la coupure ouverte par le torrent dans le cône C.

Planche 17.

Fig. 1. Moraine profonde et cône de déjection entre le Brunig et Lucerne; à Lungern, à Sarnen, dans le val de Stanz et au pied de la chaîne du Pilate.

Fig. 2. Relations des mêmes dépôts à l'amont du lac de Sarnen.

Fig. 3. Coupe entre les lacs de Lungern et de Sarnen.

Planche 18.

Fig. 1. Cirque entre Saint-Bernardin et Sⁿ-Giacomo, moraine profonde recouverte par les cônes de déjection de deux torrents.

Fig. 2. Aspect de ce cirque dans le cas d'un comblement exécuté par les eaux de la Mœsa.

Fig. 3. Plan d'une portion du cours du Rhin dans les environs de Coire.

Fig. 4. Coupe transversale, suivant la ligne *A B* du plan (Fig. 3). *CC*, nappe profonde dans laquelle le lit du fleuve est creusé.

d. d. Ilots, ou bancs de sables et de graviers formés et remaniés par les eaux.

Fig. 5. Même coupe sur laquelle on a indiqué en *x, x*, des dépôts limoneux.

Fig. 6. Coupe imaginaire du même terrain, offrant des terrasses parallèles, marquant les retraites successives des eaux, conformément à la théorie diluvienne et d'après plusieurs auteurs, mais qu'on ne rencontre dans aucune des vallées connues jusqu'ici.

Planche 19 et dernière.

Fig. 1. Coupe du terrain erratique de Tamins.

Fig. 2. La vallée du Rhin à Ems. Rochers coniques faisant

saillie à la surface nivelée de la moraine profonde et recouverts à l'amont de sables, de galets et de blocs erratiques.

Fig. 3. Coupe, suivant l'axe de la vallée, d'une de ces buttes coniques de rochers.

Fig. 4. Moraine profonde *AA* près du village de Feldberg bâti sur un cône de déjection *B* d'un torrent; *CC*, deux cônes graveleux, restes d'une ancienne moraine frontale.

Fig. 5. *CC*, cônes de Coire, semblables à ceux de Feldberg et de Bonaduz : *AA*, moraine profonde : *B*, moraine latérale : *d*, cône de déjection ancien, formé des débris de la moraine latérale.

Fig. 6. Cône, ou portion séparée de la moraine frontale du glacier du Rhône par les eaux sortant de ce glacier.



TABLE.

	Pages
Avertissement	V.
I. Observations sur le terrain erratique du bassin du Rhin, entre Bâle et Coblençe (Pl. 1 et 2).	1.
II. Quelques mots sur le <i>diluvium</i> indiqué à la base des dépôts erratiques (Pl. 3).	41.
III. Dépôts erratiques de la vallée de la Meuse (Pl. 4).	73.
IV. Moraine profonde du glacier de l'Aar (Pl. 5).	97.
V. Observations sur la coupe de l'Allée-Blanche donnée par M. E. Collomb (Pl. 6).	119.
VI. Comblement et dépôts erratiques du bassin du Pô (Pl. 7)	129.
VII. Esquisse de terrain erratique de la vallée du Rhin-postérieur (Pl. 8, 19).	157.
Post-scriptum	219.
Table et explication des Planches.	225.