

Br. Amérique du Nord
36-996

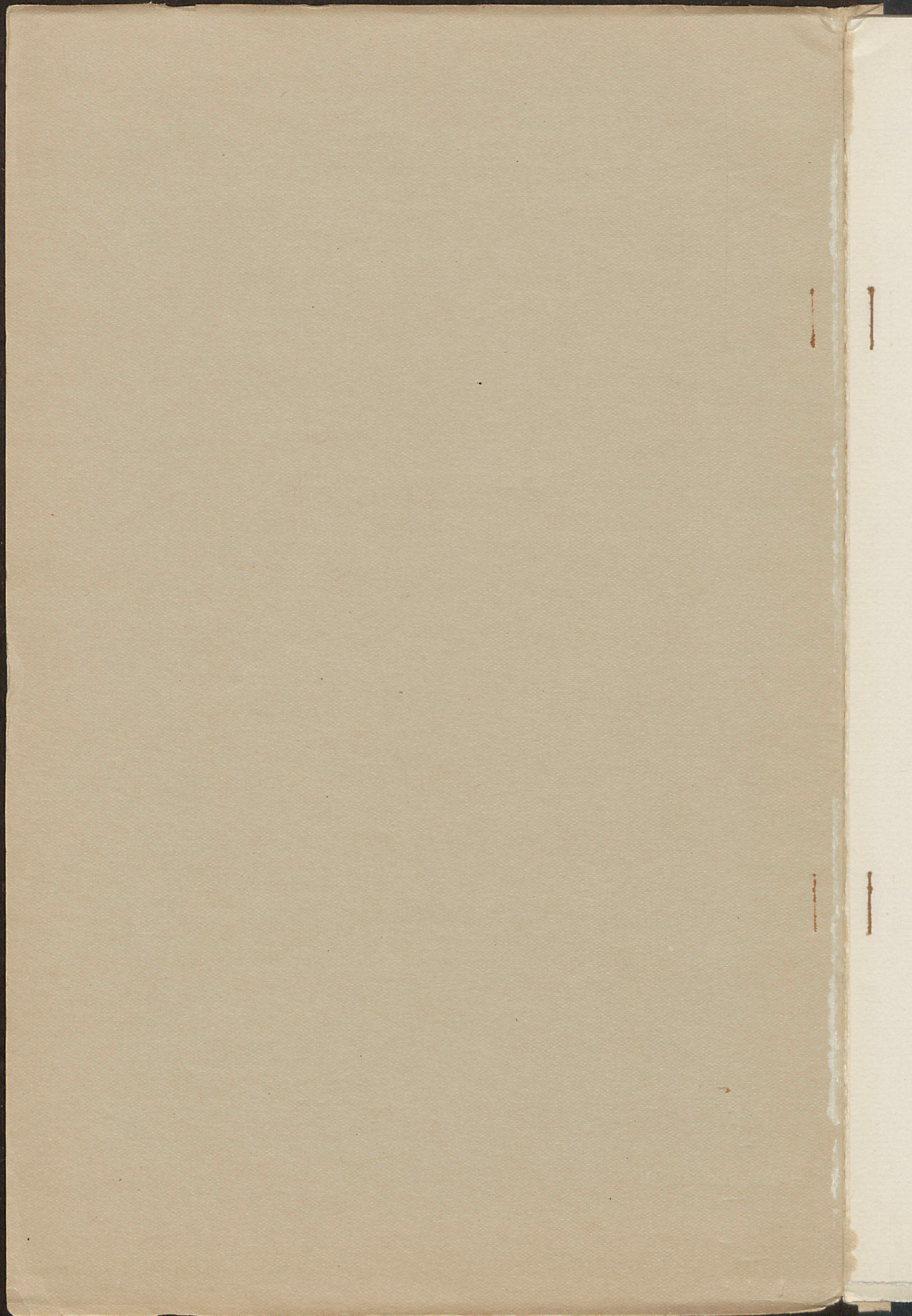
LE PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE:

ESQUISSE MORPHOLOGIQUE

EMMANUEL DE MARTONNE

Reprinted from the
MEMORIAL VOLUME OF
THE TRANSCONTINENTAL EXCURSION OF 1912 OF
THE AMERICAN GEOGRAPHICAL SOCIETY OF NEW YORK
1915

Br.
Am. du Nord.
36-
496



LE PARC NATIONAL DU YELLOWSTONE: ESQUISSE MORPHOLOGIQUE *

EMMANUEL DE MARTONNE

DE tous les "Parcs Nationaux" réservés, dans l'immense territoire des États Unis, "for the enjoyment and benefit of the people", le Yellowstone National Park est le plus célèbre et le plus visité par les voyageurs de tous pays. Au géographe attiré par sa réputation il réserve encore des surprises. Si les geysers, étiquetés, catalogués comme les pièces d'un musée, imposés à l'attention par les implacables cicérons des hôtels, n'ont pas pour lui le même attrait que pour le touriste international, les promenades autour du lac et sur le bord du fantastique canyon par où s'échappent ses eaux laissent le souvenir de spectacles grandioses, d'une beauté sévère, en même temps qu'ils posent, devant l'esprit curieux de s'expliquer leur origine, les questions de géographie physique les plus captivantes.

Après la traversée des plaines du Montana, c'est avec plaisir que l'œil aperçoit, en approchant de Livingston, la silhouette des montagnes. Mais les arbres sont toujours aussi rares. Les flancs de la chaîne des Absarokas, sculptés de cirques et de vallées glaciaires, bordés d'un glacis de moraines, sont ceints d'une étroite zone de forêts; mais la vallée, de plus en plus encaissée, est une vraie steppe. A Gardiner, la porte du Parc se dresse dans un paysage désolé: moraines et terrasses à gros cailloux couvertes de *sage brush*, coulées de laves aux escarpements noirâtres; à peine quelques peupliers tor-dus et quelques pins aux bords du thalweg.

Il faut monter au-dessus de Mammoth Hot Springs pour voir commencer la forêt, qui, à partir du Golden Gate, règne en maîtresse sur tous les hauts plateaux, sombre et monotone forêt, presque

* This paper has also been published, in substantially the same form, in the *Annales de Géographie*, Vol. 22, 1913, pp. 134-148.

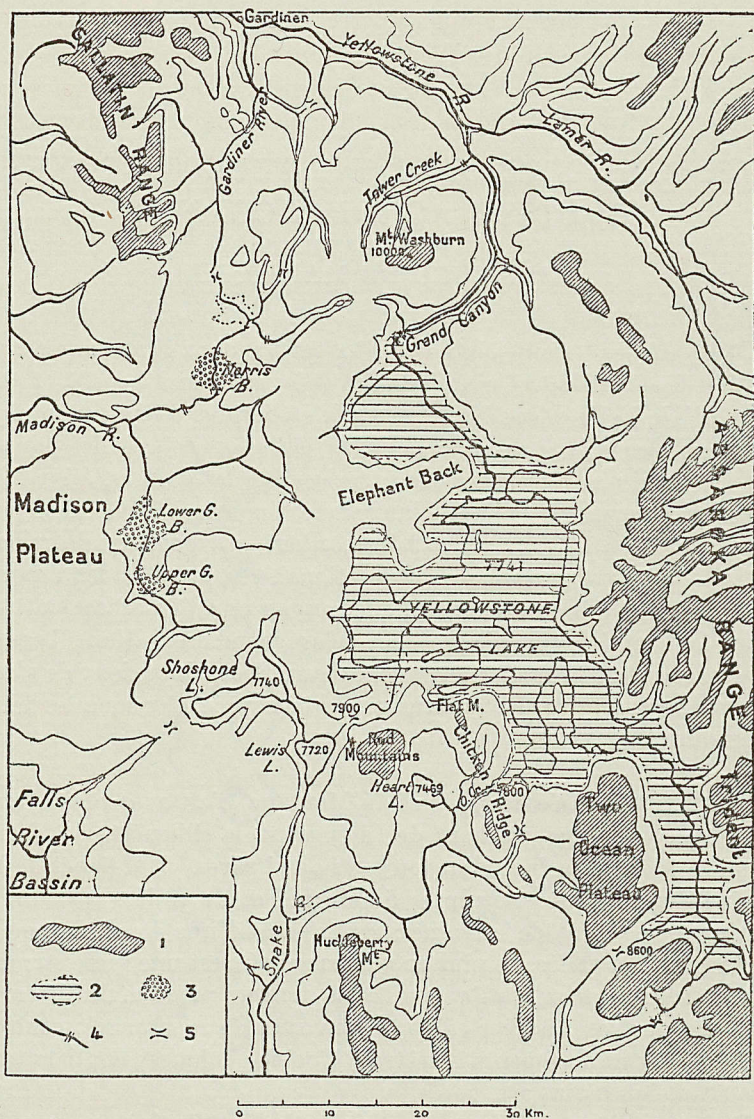


FIG. 1. Carte du Parc du Yellowstone pour servir à l'étude des captures récentes. Echelle, 1: 800,000.—Courbes de niveau de 1,000 en 1,000 pieds. Altitudes en pieds.

1. Massifs supérieurs à 10,000 pieds (centres principaux de glaciation);—2. Extension du lac Yellowstone à la fin de la période glaciaire;—3. Bassins à geysers;—4. Principales cascades;—5. Cols ayant pu être suivis par les eaux à la fin de la période glaciaire (O. Cr.=Outlet Creek).

entièrement formée par deux espèces de conifères, dont la plus commune est le jack-pine (*Pinus Murrayana*). Plus on avance vers le sud et l'ouest, plus le manteau devient continu, dérochant toute vue pendant des heures, sur les routes qui s'allongent. Les seules éclaircies sont des dépressions marécageuses, souvent encombrées de moraines, ou les bassins à geysers, qui, dans les rares occasions où la vue peut s'étendre assez loin, font une tache blanche au milieu de croupes sombres ondulant à perte de vue.

Un des premiers explorateurs du Parc, peu suspect d'être inattentif au paysage, le géologue et dessinateur Holmes, dont le rapport contient d'admirables dessins panoramiques,¹ écrivait, non sans raison: "Les gens qui ne connaissent le Parc que par les livres ou les articles de journaux s'imaginent généralement qu'il abonde en paysages grandioses. Au contraire, il est formé en grande partie de plateaux ondulés et coupés, couverts d'une forêt dense et extrêmement monotone."

L'impression de monotonie est augmentée pour le visiteur par l'obligation de suivre les routes, tracées uniquement pour faire communiquer entre eux les bassins à geysers, et sans aucun souci de découvrir des points de vue intéressants. Pourtant, l'approche du lac Yellowstone fait pressentir des spectacles nouveaux. Le petit canyon de la Firehole River avec ses cascades, la vue sur le lac Shoshone, avec la silhouette des pics hardis de la chaîne des Tétons, méritent un arrêt. Mais la descente sur le lac laisse le souvenir d'un spectacle inoubliable.

La nappe, d'un bleu profond, scintillant sous un soleil ardent, s'étend à perte de vue, divisée en bras ramifiés, étroitement encadrée par les replis des collines d'un vert sombre, et dominée par les sommets déchiquetés et poudrés de neige des Absarokas. Il est difficile de rendre l'impression de calme, de solitude et de majesté qui se dégage de ce spectacle, semblant évoquer les images que les yeux des premiers hommes ont dû contempler.

A la beauté des lignes et à l'harmonie des couleurs s'ajoute, pour le géographe, l'intérêt scientifique. La carte consultée, les questions se pressent: l'origine du lac paraît d'autant plus digne d'être discutée que des dépôts, indiquant une plus grande extension, s'obser-

¹ W. H. Holmes: Report on the Geology of the Yellowstone National Park, 12th Ann. Rep. U. S. Geological and Geographical Survey of the Territories (Hayden) for the year 1878, Part II, pp. 1-62. Washington, 1883.

vent partout sur ses bords, et que des cols très bas, par lesquels ses eaux auraient pu se déverser au sud vers la Snake River, sont marqués en plusieurs endroits. La gorge par laquelle s'écoulent actuellement vers le nord les eaux du lac serait donc de formation toute récente.

Cette impression se confirme, lorsque, après la traversée de la large clairière de Hayden Valley, où l'émissaire du lac serpente au milieu de terrasses et de moraines, on arrive au bord de l'abîme dans lequel la rivière plonge par deux bonds formidables. L'œil garde longtemps la vision de cette coupure étroite, tranchant la surface uniforme et sombrement boisée du plateau, avec ses parois où la roche, décomposée par les solfatares, se colore de teintes éclatantes, blanc, rouge, jaune ou ocre, s'effrite en talus croulants ou se débite en piliers.

L'ascension facile du Mt. Washburn achève de montrer le caractère original de tout ce pays. C'est bien une région de plateaux monotones et en grande partie boisés, trouée de bassins à geysers, éventrée par quelques canyons, dont celui de la rivière Yellowstone est le plus grandiose, occupée au centre par une vaste nappe lacustre ramifiée et suspendue en quelque sorte au-dessus de vallées profondes qui se disputent son drainage. Mais ces plateaux forment en réalité une dépression, entourée de tous côtés par de hautes montagnes aux sommets déchiquetés, que la neige couvre longtemps et qui ont, pendant la période quaternaire, donné naissance à de vastes glaciers envahissant la cuvette du Parc: à l'ouest les Gallatins, au sud les Tétons, à l'est et au nord les Absarokas.

Pour qui connaît la structure des Montagnes Rocheuses il semble donc, au premier abord, que nous ayons affaire à l'un de ces nombreux bassins intérieurs, auxquels on a donné dans le sud le nom de "park" et dont le bassin de Bozeman, au nord, est encore un exemple; dépressions généralement d'origine tectonique, entourées de montagnes, et qui ont souvent été occupées par des lacs disparus. Un coup d'œil jeté sur une carte générale montrera cependant que la région a une situation assez particulière. Non seulement le lac Yellowstone, mais tout le Parc est une cuvette réellement suspendue au-dessus des plaines qui la serrent de près, non seulement au nord et à l'est, mais même à l'ouest. Les Tétons et les Gallatins s'abaissent brusquement sur les grandes plaines de la haute Snake, qui atteignent à peine l'altitude de celles du Montana et du Wyoming.

Les Montagnes Rocheuses s'étranglent ici, jusqu'à disparaître presque complètement. La région du Parc Yellowstone forme comme un pont reliant les faisceaux du nord à ceux du sud. Les anciens géographes auraient parlé de "nœud orographique". Il est permis en tout cas de parler de "centre hydrographique". C'est une véritable fontaine que la région du Parc, d'où découlent presque toutes les rivières qui arrosent l'Ouest des États Unis: Missouri, Yellowstone, Snake, Green.

Comment expliquer cette situation?

Sur la carte géologique, la région du Yellowstone est couverte par la tache rouge des roches volcaniques récentes. En fait, à partir de Mammoth Hot Springs, le touriste géologue dit adieu aux derniers affleurements de roches sédimentaires facilement observables. Tufs, brèches, laves plus ou moins compactes, plus ou moins vitreuses, alternent désormais sur tout le parcours. Les feuilles géologiques au 1:125 000 publiées par le Geological Survey² enregistrent une succession de produits éruptifs variés, empilés sur une épaisseur de plus de 1000 m. et dont l'âge remonte, en certains points, jusqu'au début du Tertiaire. Seules les montagnes qui bordent la dépression centrale (Gallatins à l'ouest, Tétons au sud, Snowy Range au nord) sont formées par des couches sédimentaires ou métamorphiques, plissées ou disloquées par des failles.

Ainsi la cuvette du Yellowstone correspond à un empilement de formations volcaniques dans une aire tectoniquement déprimée. C'est en grande partie à l'accumulation de ces produits internes qu'elle doit son élévation au dessus des plaines voisines. Tectoniquement c'est une fosse, encadrée de tous côtés par des failles, dont la plus importante, suivie à peu près par la rivière Yellowstone depuis son confluent avec la Lamar River, avait déjà été parfaitement reconnue par Holmes. Cette blessure profonde de l'écorce du globe a été cicatrisée par les épanchements volcaniques, mais s'est rouverte à plusieurs reprises, et reste encore un point sensible de l'épiderme terrestre. Les sources chaudes qui continuent à édifier les terrasses éclatantes de travertins de Mammoth; les fu-

² Yellowstone National Park (Wyoming), *Folio 30, Geologic Atlas of the U. S.*, Washington, 1896 (4 flles. topographiques et 4 flles. géologiques au 1:125 000, 12 pp. texte et photographies); *Atlas to Accompany Monograph XXXII on the Geology of the Yellowstone National Park*, by Arnold Hague (27 flles.), Washington, 1904.

merolles dont le panache blanc tache çà et là les plateaux boisés d'un vert sombre et s'élève même au fond du Grand Canyon; les geysers lançant à intervalles réguliers leur jet de vapeurs et d'eau, témoignent assez que la chaleur interne est encore assez élevée à une faible profondeur.

On peut donc croire que la région du Yellowstone, bien que formant un fossé tectonique, a dû à l'activité volcanique de rester depuis longtemps en saillie. C'est ce qui lui aurait permis d'être un centre de dispersion des rivières. Le rôle de fontaine qu'elle joue encore lui est facilité par les réserves d'eau accumulées dans les terrains volcaniques perméables, qui emmagasinent la pluie au détriment de la surface des plateaux, mais au profit des sources et des rivières encaissées.

L'extension de la forêt, couvrant presque toute la région, prouve d'ailleurs que les précipitations doivent être relativement abondantes. Formant pont entre les faisceaux des Montagnes Rocheuses largement étalés au nord et au sud, le massif du Parc est le seul obstacle que rencontrent les vents d'ouest aussi bien que les vents d'est. Il semble même que l'altitude des plateaux soit à peu près celle de la zone des précipitations maxima, la pluie diminuant au-dessus de 2800 m., comme au-dessous de 1800 m.; c'est ce qui expliquerait la continuité du manteau forestier, réduit à une zone relativement étroite sur les montagnes voisines, plus élevées, mais aux pentes plus fortes. Si, en effet, la steppe règne jusqu'à près de 1800 m., la forêt dense cesse dès 2600 m., et les derniers pins rabougris sont à 3000 m. sur les flancs du Mt. Washburn.

Telles sont les constatations et les conclusions générales que peut permettre une tournée rapide à travers le Parc. Peut-être est-il téméraire de vouloir aller plus loin. Pourtant, il est difficile d'échapper aux questions qui se posent.

Le lac Yellowstone est le trait principal de l'hydrographie du Parc. Quelle est l'origine de sa cuvette, entièrement formée par les roches volcaniques? Dépression originaire entre les coulées, ou affaissement tectonique? Érosion fluviale ou érosion glaciaire? Si ses eaux se sont écoulées d'abord vers le sud, quelle est la circonstance qui les a détournées vers le nord?

La dernière question est la seule à laquelle on ait cherché à donner

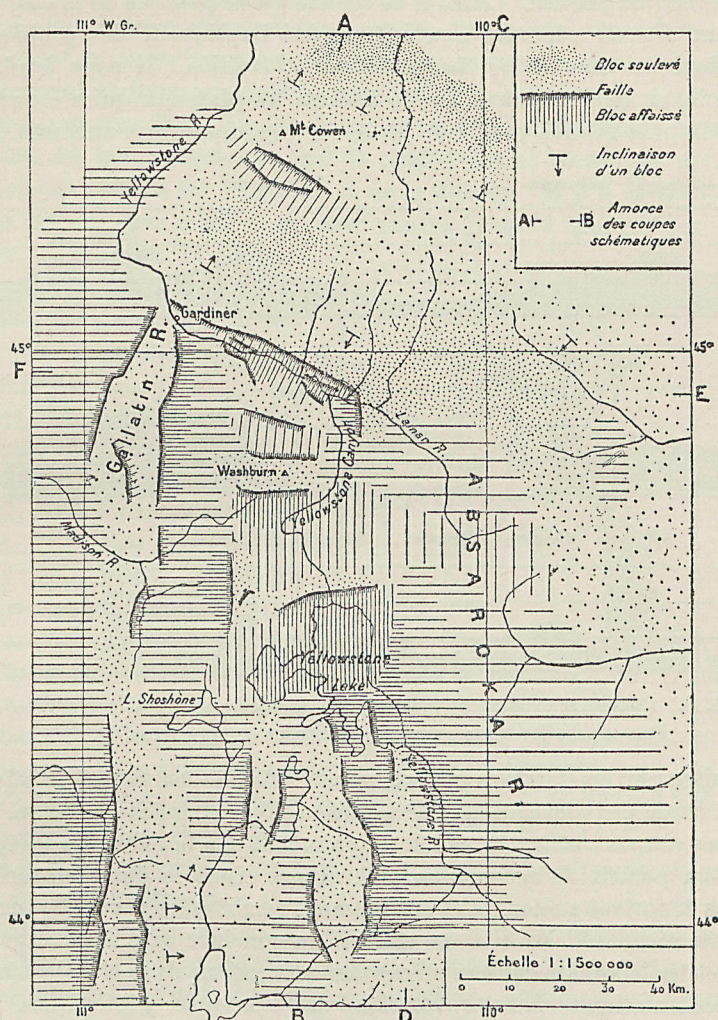


FIG. 2. Esquisse tectonique du Parc du Yellowstone et des montagnes voisines

On a essayé de représenter l'allure du soubassement des roches volcaniques. Les différences d'altitude sont indiquées, dans les blocs soulevés, par l'espacement du pointillé (pointillé le plus serré pour les parties les plus basses), et, dans les blocs affaissés, par celui des traits (traits les plus serrés pour les parties les plus basses).

une réponse précise.³ Mais il ne semble guère possible de la discuter avant d'avoir répondu aux autres, qui impliquent des problèmes géologiques encore fort imparfaitement étudiés. Il nous faudrait savoir, en général, dans quelle mesure les plateaux qui s'étendent sur la plus grande partie du Parc correspondent aux surfaces con-

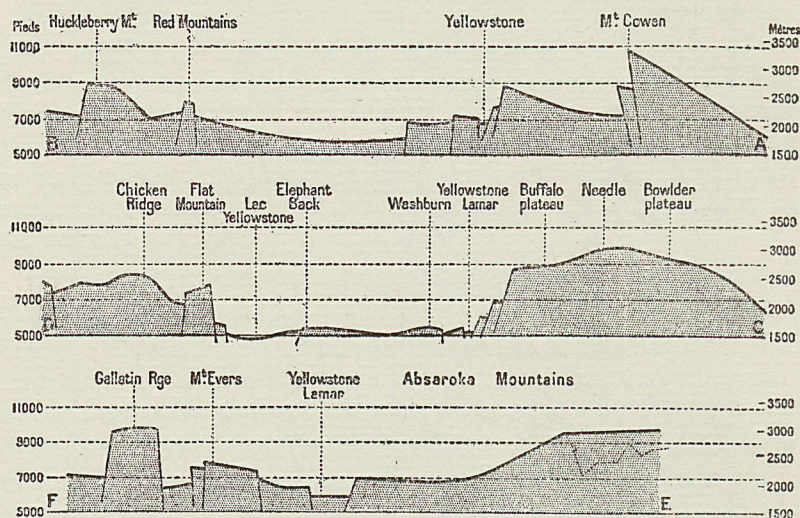


FIG. 3. Coupes schématiques montrant le caractère de fosse tectonique du Parc du Yellowstone (amorces marquées sur la carte Fig. 2)

struites par les derniers épanchements volcaniques, ce qui implique une étude des dislocations tectoniques et des périodes d'érosion.

Les coupes visibles dans les canyons ont, dès le début de l'exploration, permis de reconnaître des vallées creusées dans les formations éruptives anciennes et entièrement remblayées par les épanchements récents.⁴ Mais on ne saurait en conclure que la cuvette du lac et les bassins à geysers soient des dépressions dues simplement à l'accumulation. L'interprétation des contours géologiques, au moyen de profils détaillés établis d'après la carte, semble prouver que la plupart des traits topographiques de la région du Parc sont en relation avec des dislocations du soubassement volcanique.

La carte (Fig. 2) et les coupes (Fig. 3) montrent que toute la

³ J. P. Goode: The Piracy of the Yellowstone, *Journ. of Geology*, 1899, Vol. VII, pp. 261-271.

⁴ Holmes, *op. cit.*—Arn. Hague: The Age of the Igneous Rocks of the Yellowstone National Park, *Amer. Journ. of Science*, 1896, p. 454.

région est hachée de failles et divisée en blocs basculés ou plissés.⁵ Les failles intéressent certainement les formations éruptives anciennes et, en certains points, les formations même récentes, à l'exclusion des coulées de basalte quaternaire qui suivent le fond des vallées (coupes, Fig. 6). Le point le plus déprimé semble correspondre au lac Yellowstone, où le soubassement serait au niveau actuel des plaines du Montana et de la Snake. Il y a là un véritable ombilic, qui a dû se creuser encore jusqu'à une période récente, entraînant la surface érodée des coulées et déterminant un ennoyage des vallées, qui forment les digitations du lac.

Les sondages donnés par Holmes⁶ et qui n'ont malheureusement pas été reportés sur la carte topographique du Parc, non plus que sur les folios géologiques, indiquent des profondeurs de 70 et 80 m. qui se retrouvent dans tous les bras explorés (Fig. 4). Cette concordance des profondeurs maxima paraît un argument sérieux en faveur de l'hypothèse de l'ennoyage d'un réseau de vallées, à la suite d'un affaissement affectant assez uniformément toute la surface du bassin lacustre.

Après la cuvette du lac Yellowstone, le point tectoniquement le plus déprimé de la région est le fossé qui limite au nord l'aire déprimée du Parc et qui est suivi, pendant 35 km. environ, par la rivière Yellowstone. Le soubassement volcanique s'abaisse ici brusquement de 1500 m. au sud du Buffalo Plateau. Cette brusque dénivellation est encore si marquée dans la topographie qu'elle représente un des

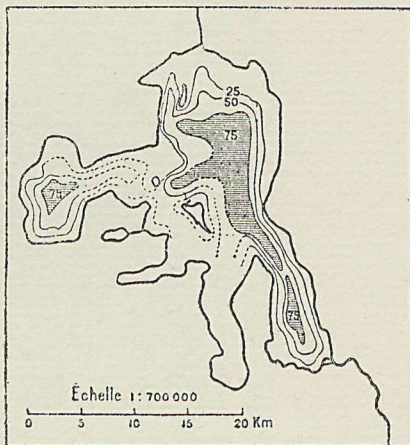


FIG. 4. Esquisse des profondeurs du lac Yellowstone

Courbes de 25 en 25 m., tracées d'après les sondages du Survey de Hayden. Les fonds de plus de 75 m. sont marqués en grisé.

⁵ Outre le folio Yellowstone National Park, déjà cité, on s'est servi des folios Absaroka (No. 52), comprenant les feuilles Crandall et Ishawooa au 1:125 000, et du folio Livingston au 1:250 000 (No. 1).

⁶ Les profondeurs (en *fathoms*) sont portées sur la carte topographique de Gannett accompagnant le rapport de Holmes déjà cité.

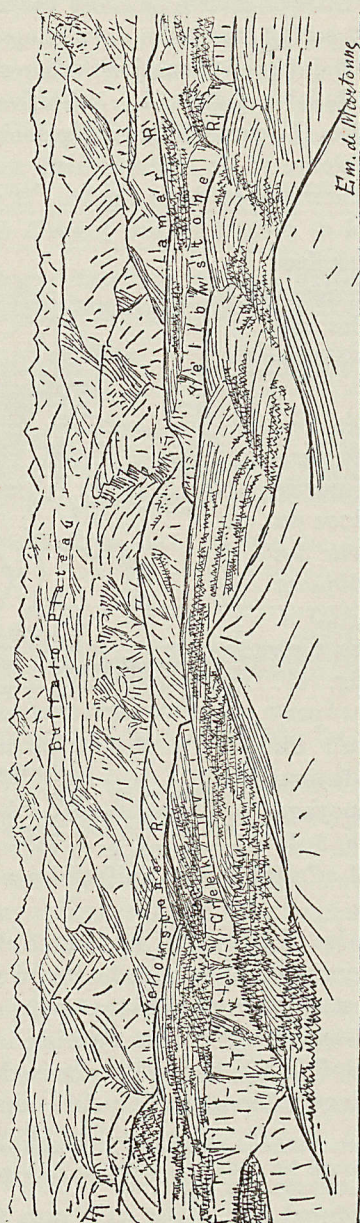


FIG. 5. Panorama du Mt. Washburn vers le nord

Noter la surface du Buffalo Plateau, dont la partie inférieure est une péninsule fossile, dégagée par enlèvement de la formation de Flathead, et sa brusque coupure par la grande dislocation du sillon Lamar-Yellowstone.

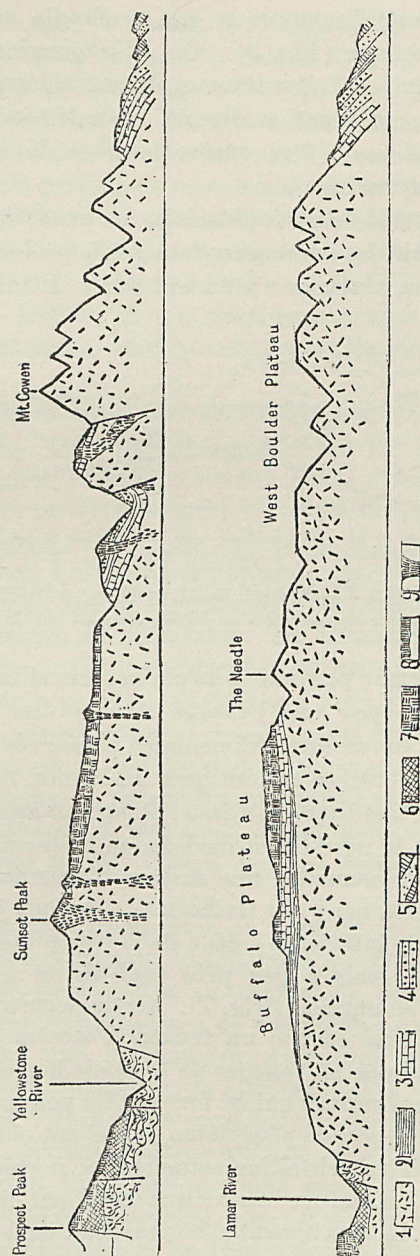


FIG. 6. Coupes de la partie nord de la chaîne des Absarokas, établies d'après les cartes géologiques Livingston au 1: 250,000 et Canyon et Gallatin au 1: 125,000

1. Granite and schists;—2. Flathead formation;—3. Madison limestone;—4. Quadrant quartzite;—5. Dakota sandstone, Colorado and Laramie;—6. Eocene andesitic breccia;—7. Early andesitic flows;—8. Rhyolite and late basalt;—9. Porphyry.

traits les plus frappants du panorama que se déroule, vers le nord, du haut du Mt. Washburn (Fig. 5). On a l'impression très nette que le cours de la rivière Yellowstone et de son affluent la Lamar River, qui en est la continuation directe, sont déterminés par ce sillon tectonique, qui a dû être encore le siège de mouvements jusqu'à l'époque quaternaire.

Il serait intéressant de suivre plus loin au nord, jusqu'à Livingston, la topographie des montagnes formant le prolongement des Absarokas. De vastes plateaux s'y étalent à des altitudes considé-

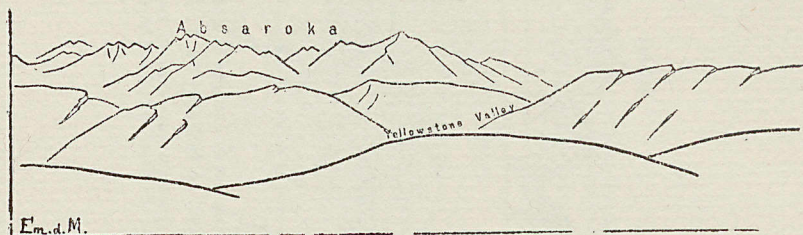


FIG. 7. Les surfaces séniles à 2100-2400 m. au-dessus de Livingston, d'après une esquisse hâtive faite en montant de Livingston au col de Bozeman

rables, en partie formés par une pénéplaine cristalline (Boulder Plateau), qui plonge par une brusque flexure vers les plaines (coupes, Fig. 6). La couverture sédimentaire, conservée en quelques points élevés sous les brèches andésitiques anciennes, forme, sur le bord de la montagne, une bande continue, plongeant assez régulièrement vers le nord et le nord-est et modelée en crêtes monoclinales. Mais il est facile de reconnaître une surface d'aplanissement bien conservée à l'extrémité nord des Gallatins, tranchant les têtes des couches à une altitude inférieure à celle de la pénéplaine cristalline du Boulder Plateau, mais à peu près équivalente à la hauteur moyenne des Crazy Mountains (Fig. 7). Or ce dernier massif, qui se dresse dans la plaine comme un témoin d'érosion colossal, est entièrement constitué par les couches de Laramie horizontales, consolidées par des *dykes* éruptifs qui en forment les points culminants.

Il a donc existé une seconde pénéplaine, tranchant obliquement la surface de la pénéplaine cristalline actuellement portée à des altitudes de plus de 3000 m. par un bombement anticlinal dissymétrique (Fig. 3, coupe CD). Le mouvement a été plus régulier à l'est (coupe

CD), tandis que, à l'ouest, la surélévation amenait vers le Mt. Cowen une rupture de la voûte (coupe AB; cf. coupe Prospect Peak-Mt. Cowen, Fig. 6). D'après les contours géologiques, le rejet des failles est considérable; il y a même chevauchement vers le sud, ce qui semble indiquer une poussée nouvelle survenue après la rupture. Cette seconde période de mouvements du sol pourrait être celle qui a amené l'érosion de la pénéplaine la plus récente nivelant les crêtes monoclinales du bord de la montagne et les Crazy Mountains. L'activité éruptive a, en tout cas, été ranimée à une période récente au sud du Mt. Cowen, où des porphyres se sont élevés dans le fossé faillé et sont même venus percer les coulées andésitiques anciennes.

Si ces suggestions, inspirées surtout par l'étude des cartes (*Livingston folio*), pouvaient être confirmées par une étude morphologique, qui n'a malheureusement tenté encore aucun géographe américain, on pourrait affirmer avec certitude que la région du Parc a subi plusieurs périodes de dislocation et a pu être réduite à plusieurs reprises à l'état de pénéplaine. La formation du fossé Yellowstone-Lamar paraît postérieure à la pénéplaine la plus récente du Snowy Range de Livingston. La dislocation affecte en tout cas incontestablement les formations éruptives anciennes.

L'étude de la partie occidentale du Parc conduit aux mêmes conclusions. Le horst puissant des Gallatins est limité par des failles qui affectent un massif cristallin recouvert d'une série sédimentaire paléozoïque et mésozoïque puissante, en même temps que des formations éruptives tertiaires, et qui sont cicatrisées en certains points, comme au Mt. Cowen, par des venues de porphyres dacitiques.

Ces failles appartiennent à un système de dislocations nord-sud qui prédomine dans tout le sud-ouest du Parc, comme les dislocations est-ouest prédominent au nord-est (v. carte, Fig. 2). Les contours géologiques permettent de reconnaître que le relief antérieur aux éruptions était ici beaucoup moins uniforme qu'au nord. La région des Red Mountains, du Chicken Ridge, participe aux plis de la chaîne des Tétons. Les conglomérats tertiaires (*Pinyon conglomerate*), qui coiffent quelques sommets, protégés par un chapeau de laves anciennes, indiquent un relief accidenté avant les premières éruptions; et le soubassement même des rhyolites récentes qui forment les grands plateaux du Parc présente des inégalités, dessinant

des vallées assez profondes et assez larges. Nulle part les dislocations des formations éruptives ne sont aussi évidentes qu'aux environs de Huckleberry Mountain.

Il est très probable que les bassins à geysers qui sont nombreux dans l'ouest du Parc ont été affectés par ces dislocations, mais il est possible qu'ils soient dus en partie à l'affaissement du sol miné par la dissolution souterraine, opérée à une faible distance de la surface par les eaux thermales, ou même à une plus grande profondeur par la chaleur du magma interne.

La localisation des geysers dans les bassins n'a, en tout cas, rien d'étonnant. Des sources doivent naturellement se faire jour dans les dépressions d'une région entièrement formée de produits éruptifs très perméables; mais, si le plan d'eau se rapproche de la surface dans les dépressions, il en est de même des surfaces d'égale température interne. Enfin, si les bassins sont en rapport avec de véritables dislocations tectoniques, l'ascension de vapeurs internes n'est pas impossible.

En résumé, l'étude de la tectonique du Yellowstone, telle qu'on peut la reconstituer d'après les contours des *folios* géologiques interprétés au moyen de coupes détaillées, montre que le relief n'est pas simplement dû aux accumulations volcaniques. Des dislocations, affectant non seulement le soubassement, mais les couches de laves, tufs et brèches d'âge différent, ont tendu, jusqu'à une époque récente, à rendre toujours à la région son caractère de cuvette, le fond comblé par les accumulations de produits éruptifs s'affaissant de nouveau. Le sillon Yellowstone-Lamar au nord, les bassins à geysers alignés à l'ouest le long de dislocations parallèles au bord du horst des Gallatins, enfin la dépression du lac lui-même sont les points où la sensibilité paraît avoir été la plus vive et la plus prolongée.

La cuvette du lac Yellowstone correspondant à peu près à l'endroit où le soubassement volcanique paraît le plus affaîssé, il est possible que la formation du lac soit antérieure à la période quaternaire. On en aurait la preuve si l'on découvrait des dépôts lacustres recouverts par les moraines. En tout cas, il n'est guère permis de douter que l'écoulement des eaux se soit fait primitivement vers le sud. On en peut donner les preuves les plus variées.

L'argument géologique le plus connu est la présence d'un énorme bloc de granite sur le plateau, à l'ouest du Grand Canyon de la

rivière Yellowstone. Ce bloc n'aurait pu être apporté par des glaciers descendant du massif cristallin situé au nord-est si le canyon avait été déjà creusé.⁷

D'autre part, les zoologues ont remarqué, dans le lac Yellowstone, la présence d'espèces inconnues dans le bassin du Mississippi et communes dans celui de la Columbia, dont la Snake est tributaire.

Il est regrettable que la topographie du lac ne soit pas mieux connue, mais ce que l'on en sait s'accorde bien avec l'hypothèse d'un ancien écoulement vers la Snake. Les profondeurs sont faibles du côté de l'émissaire actuel; les plus grandes profondeurs se prolongent, au contraire, jusqu'au fond des bras allongés vers le sud (Fig. 4).

Nous avons déjà indiqué l'existence de plusieurs cols bas. Les altitudes relevées sur la ligne de partage des eaux entre la Snake et la Yellowstone sont à peine à 100 m. au-dessus du lac actuel et presque au même niveau que les dépôts lacustres anciens. Un col étroit coupant le Chicken Ridge est à 2370 m.; c'est à cette altitude que la carte géologique arrête partout le figuré des dépôts lacustres. Le topographe a certainement eu conscience que là devait être un émissaire du lac, car il a donné au ruisseau descendant de ce col vers la Heart River le nom de Outlet Creek.

On pourrait, il est vrai, s'étonner de l'étroitesse du goulot qui aurait servi à la décharge des eaux d'un lac plus grand encore que le lac actuel. L'objection tomberait s'il était établi que l'écoulement par ce point a été temporaire. C'est ce que nous espérons démontrer en étudiant comment s'est fait le renversement du drainage.

Deux hypothèses peuvent être invoquées pour expliquer le changement qui a donné naissance à l'admirable gorge de la rivière Yellowstone: capture par érosion régressive d'un affluent de la Lamar River, ou déversement d'un lac dont l'écoulement vers le sud était temporairement empêché.

La capture est l'hypothèse qui paraît le plus en faveur chez les géologues américains.⁸ C'est le procédé par lequel on explique généralement tous les changements du réseau hydrographique. On peut invoquer en sa faveur le creusement des canyons, tels que le Tower Creek, dans les plateaux au nord du Mt. Washburn, creuse-

⁷ C'est Holmes (*op. cit.*, pp. 52-55) qui a découvert le bloc de granite. Il a étudié et figuré sur une carte la repartition des erratiques granitiques, montrant nettement leur provenance septentrionale.

⁸ J. P. Goode, *op. cit.*

ment rendu nécessaire par l'approfondissement du sillon Lamar-Yellowstone. L'avantage pris par la rivière qui a détourné les eaux du lac s'expliquerait par la facilité qu'elle a trouvée à entailler les rhyolites décomposées par les solfatares. Les couleurs éclatantes et variées des parois du Grand Canyon sont précisément dues à cette décomposition. Il est vrai qu'elles s'arrêtent vers l'aval à quelque kilomètres des chutes. D'autre part, si l'approfondissement du sillon Lamar-Yellowstone assurait un avantage évident au drainage vers le nord, il est difficile de comprendre pourquoi la capture n'a pas eu lieu plus tôt et ne s'est produite qu'au moment où se formait un lac, qui devait nécessairement s'écouler vers le sud par des seuils plus bas (le col de l'Outlet Creek est à 60 m. au-dessous de la surface du plateau entaillé par le Grand Canyon).

Il semble que le changement de drainage soit en rapport avec les phénomènes glaciaires et que l'hypothèse du déversement par suite de barrage vers le sud mérite d'être envisagée.

Les traces d'une vaste extension glaciaire abondent dans toute l'étendue du Parc. Il est regrettable que l'étude systématique n'en ait jamais été faite. Tous les bassins déprimés, même les bassins à geysers, sont gorgés de moraines, présentant parfois des formes topographiques très nettes, qui permettent de croire que des lobes terminaux ont occupé ces dépressions. Les moraines sont relativement rares sur les plateaux, et il semble bien que tout ce qui était au-dessous de 2600 m. n'a été recouvert par la glace que dans la mesure où des glaciers formés sur les sommets plus élevés pouvaient y déborder. Les petits cirques qu'on observe sur le flanc nord de Flat Mountain indiquent une limite des neiges éternelles de 2500 m. environ. Les principaux centres de glaciation ont dû être : à l'ouest, les Gallatins, dont les moraines remplissent toute la haute vallée de la Gardiner River et débordent jusqu'à Mammoth Hot Springs, formant de superbes vallums étagés et en partie recouverts de travertins par les sources chaudes; les Absarokas, à l'est et au nord, ont donné naissance au glacier le plus puissant qui descendait dans la vallée de la Yellowstone bien au delà de Gardiner (dernières moraines à Chickory au sud de Livingston); au sud, enfin, les Red Mountains ont été couvertes de glaces, de même que les grands plateaux de laves qui s'étendent directement au sud du lac à des altitudes de 2900 et 3050 m. (Two Ocean Plateau).

En dehors des Absarokas et des Gallatins, offrant quelques jolis cirques, et du sillon Lamar-Yellowstone, qui semble localement sur-

creusé, avec un verrou dû à l'affleurement du granite, on est frappé de la rareté des formes de sculpture glaciaire, comparée à l'abondance des dépôts que l'on rencontre dans toutes les dépressions.

Les plateaux du Parc n'ont certainement pas été recouverts entièrement par la glace, et la calotte devait être relativement peu épaisse. Les sommets d'où sont descendus les glaciers sont eux-mêmes loin de présenter partout des formes de sculpture alpine. Le Two Ocean Plateau, vu du lac, est remarquable par son aspect tabulaire, contrastant avec les formes déchiquetées des Absarokas. Il est probable que la sculpture préglaciaire, qui a, là comme partout, conditionné l'érosion glaciaire, était à peine commencée sur ces plateaux, alors qu'elle avait déjà travaillé sur les Absarokas.

Si la totalité du Parc n'a pas été recouverte de glace, il est cependant certain que la cuvette actuellement occupée par les eaux du lac a été envahie par les masses descendant des Red Mountains, du Two Ocean Plateau et des Absarokas. On peut même admettre que l'épaisseur de la glace a été assez grande pour exercer une certaine érosion et approfondir la cuvette. Les moraines entourant le lac et se prolongeant jusque dans Hayden Valley indiquent que le glacier s'étendait presque jusqu'à toucher le glacier venant du nord, qui apportait des blocs granitiques.

La fin de la période glaciaire est le moment décisif dans l'histoire du Yellowstone. Un lac devait nécessairement se former dans la cuvette abandonnée par les glaciers et devait s'écouler vers le sud, puisque c'est de ce côté que se trouvent les cols les plus bas. Il l'a certainement fait par l'Outlet Creek, mais pendant très peu de temps, car, au lieu de la gorge profonde qui aurait dû se creuser pour racheter la différence de niveau entre le lac et la vallée de la Snake (150 m. au moment de plus haut niveau), on n'observe qu'un court chenal, coupant le Chicken Ridge, comparable aux chenaux des lacs proglaciaires, tel qu'en peut creuser l'écoulement d'une grande masse d'eau pendant un temps très court.

Il faut donc bien admettre que l'écoulement a été bouché, et il semble naturel d'en rendre responsables les glaciers descendant des Red Mountains et du Two Ocean Plateau, qui dominent directement la partie sud du lac et les cols voisins. Ce n'est que pendant des phases de recul temporaire de ces glaciers que les eaux pouvaient s'écouler par l'Outlet Creek ou même par des cols plus élevés. L'écoulement insuffisant et intermittent explique que le lac ait grossi jusqu'à ce que ses eaux, s'étalant vers le nord dans Hayden

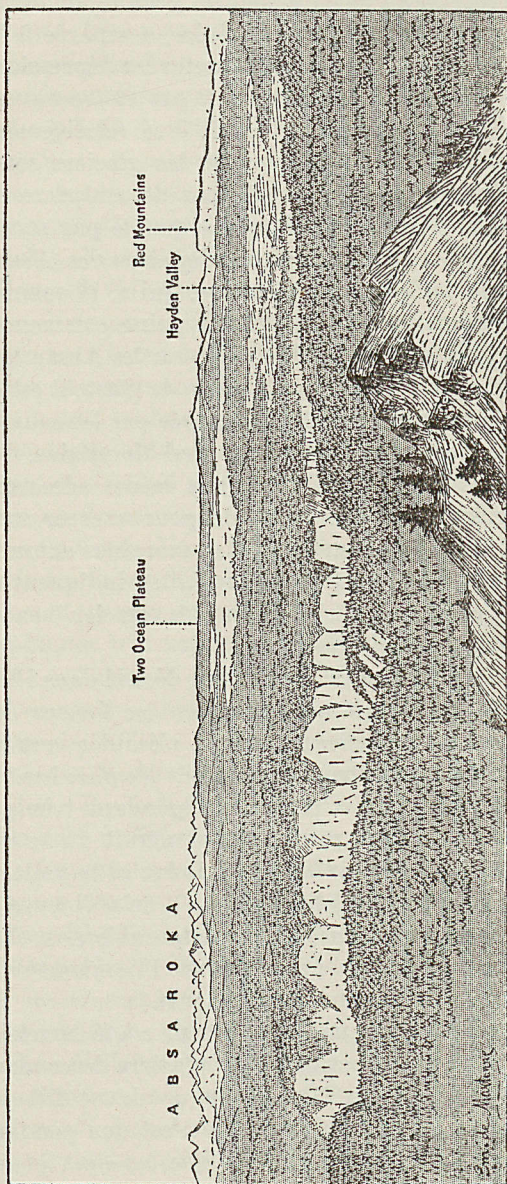


FIG. 8. Panorama du Parc du Yellowstone: vue prise vers le sud, du haut du Mt. Washburn

Plateaux de rhyolites uniformes et à peu près entièrement couverts de forêts, sauf la grande clairière de Hayden Valley (ancienne expansion vers le nord du lac Yellowstone); entaille profonde du Grand Canyon, dont le fond n'est pas visible malgré l'élévation du point de vue. Silhouette déchiquetée des Absarokas, dont les plus hauts sommets ne dépassent pourtant que de 1,000 pieds les hauts plateaux formant l'horizon au sud du lac (différence de sculpture glaciaire due à une différence de sculpture préglaciaire entre les montagnes périphériques et les montagnes centrales).

Valley, aient atteint sur les plateaux de rhyolite libres de glace, au pied du Mt. Washburn, le bord de la gorge creusée péniblement par un petit affluent de la Lamar River. Aussitôt, la masse d'eau, se précipitant dans la gorge, change le torrent en un fleuve puissant qui approfondit rapidement sa vallée. Le plan du lac baisse en même temps, et, lorsque les glaciers disparaissent définitivement au sud, il est trop tard; l'avantage appartient décidément au drainage vers le nord.

En résumé, l'hypothèse du déversement mérite d'être considérée plus sérieusement qu'on ne semble l'avoir fait encore. Elle s'impose à l'esprit lorsqu'on contemple, du haut du Mt. Washburn, le panorama qui se déroule vers le sud (Fig. 8). Au milieu des plateaux monotones, couverts de forêts, dominés par les cimes déchiquetées des Absarokas et par les masses des Red Mountains et du Two Ocean Plateau, la nappe du lac brille au loin, étalant ses bras ramifiés. Il semblerait naturel de la voir s'étendre encore, comme elle le faisait à la fin de la période glaciaire, dans cette dépression de Hayden Valley, où la prairie fait une tache claire au milieu du manteau sombre de la forêt de pins. L'étroitesse du canyon est telle qu'on n'en voit pas le fond; on le devine seulement à ses parois blanches. Il est difficile de concevoir image plus saisissante.

Mais on peut invoquer mieux que l'impression d'un panorama en faveur de l'hypothèse suggérée. L'existence d'un lac postglaciaire dans Hayden Valley est prouvée par des dépôts lacustres fins et bien stratifiés reposant sur les moraines. Un des endroits les plus démonstratifs se trouve précisément à deux pas de la chute supérieure de la rivière Yellowstone.⁹

Le détournement des eaux du lac Yellowstone vers le nord n'est pas le seul cas de transformation récente du réseau hydrographique que l'on puisse observer dans la région du Parc. Un chenal étroit, comparable au col d'Outlet Creek, paraît indiquer un écoulement temporaire vers le nord du Solfatara Creek, actuellement tributaire du bassin de Norris; un chenal semblable rejoint Lava Creek au Blacktail Deer Creek (v. la carte, Fig. 1). Il est possible que ces chenaux aient été creusés à un moment où le bassin de Norris d'un côté, la vallée de Gardiner de l'autre étaient occupés par la glace.

On peut aussi considérer comme très probable que la rivière

⁹ Voir la photographie panoramique reproduite dans l'article que j'ai publié sur le même sujet dans les *Annales de Géographie* (tome XXII, 1913, pl. II B). On y reconnaît nettement les dépôts lacustres stratifiés recouvrant les moraines.

Madison et la rivière Gardiner ont modifié la limite de leur bassin au voisinage de Roaring Mountain. L'affaissement des bassins à geysers aurait été favorable à la Madison River.

Il semble donc établi que l'aspect du réseau hydrographique du Parc est le résultat de changements récents, dont toutes les conséquences n'apparaissent certainement pas encore.

Le lac Yellowstone ne subsiste que grâce à l'extrême jeunesse du Grand Canyon. Le creusement de la gorge aurait certainement marché plus vite si la décomposition des rhyolites par les solfatares avait été partout aussi intense qu'au voisinage du Canyon Hotel. Les deux chutes correspondent à des barres de roche compacte non décomposée. L'abaissement du niveau du lac a dû être très rapide jusqu'au moment où l'érosion a rencontré ces barres. C'est ce qui expliquerait l'absence de terrasses lacustres entre le plus haut niveau visible, près du Lake Hotel (+70 m. environ), et le niveau de 10 m. dont les dépôts forment falaise le long de la route. De petits lacs ont dû persister jusqu'à une époque très récente entre les vallums morainiques de Hayden Valley. Leur fond est encore nettement indiqué par des plaines alluviales où les rivières serpentent en méandres tortueux ("Sign of the Northern Pacific"). L'érosion du seuil des chutes, qui permettra à la gorge d'entailler ces plaines et d'abaisser de nouveau le niveau du lac Yellowstone, n'est plus maintenant qu'une question d'années. Une évaluation serait peut être possible si le phénomène était suivi avec la même curiosité attentive que le recul du Niagara. Encore faudrait-il ne pas oublier que le creusement pourrait être retardé ou accéléré suivant l'état de décomposition profonde des roches.

On peut donc conclure que, si les traits généraux de la physiologie du Parc sont le résultat d'une longue histoire géologique encore imparfaitement connue, ceux qui font vraiment sa beauté s'expliquent par des changements très récents. Les plateaux monotones encadrés de hautes montagnes, formant une cuvette qui domine les plaines voisines, et d'où descendent tous les grands fleuves de l'Ouest américain, sont dus à l'accumulation réitérée des produits éruptifs, travaillant à cicatriser une blessure maintes fois rouverte de l'écorce terrestre. Mais le lac Yellowstone et l'admirable canyon par où se déversent ses eaux sont dus à des événements dont toutes les conséquences ne se sont pas encore déroulées et dont les premiers hommes auraient pu être les témoins.

