

Agassiz et les glaciers : sa conduite de la recherche et ses mérites

Autor(en): **Schaer, Jean-Paul**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **93 (2000)**

Heft 2

PDF erstellt am: **23.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-168819>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Agassiz et les glaciers. Sa conduite de la recherche et ses mérites

JEAN-PAUL SCHAER

Key words: History of geology, Ice age, Glacial theory, Agassiz L., Venetz I., Charpentier J. de, Forbes J.D., Desor E., Guyot A.,

Geology as a science is subject to revolutions similar to those of which it treats. Alternations of opinion are as frequent as those of strata
Forbes, 1842a

RESUME

Dès son arrivée à Neuchâtel, Agassiz poursuit ses recherches sur les poissons fossiles et vivants ainsi que sur d'autres aspects de la paléontologie. Très tôt, il montre également un intérêt pour les blocs erratiques disséminés sur les pentes du Jura. En 1836, à la suite d'une visite prolongée effectuée à Bex chez Charpentier, ce sujet devient l'une de ses préoccupations majeures jusqu'à son départ pour les USA en 1846. Avant de s'engager dans des recherches personnelles et indépendantes sur les glaciers, il utilise en 1837 la remarquable initiation qu'il a reçue de son collègue pour adresser son fameux discours de Neuchâtel. Celui-ci soulève une tempête de protestations, mais, grâce à la personnalité de son auteur, il attire mieux que d'autres interventions l'attention du monde scientifique sur la question glaciaire. Construit avec les informations recueillies, il innove et choque en proposant que les faunes actuelles sont des créations nouvelles remplaçant celles qui furent anéanties par un brusque et important refroidissement climatique. Une grande carapace de glace, sans relation avec les glaciers alpins, aurait alors recouvert toute l'Europe, du pôle jusqu'à la Méditerranée. Statique, elle ne comportait pas de moraines. En 1840, après de rapides visites sur les glaciers, Agassiz fait paraître son premier ouvrage sur le sujet. La bonne présentation de la morphologie glaciaire, le caractère luxueux de l'édition, les magnifiques lithographies font oublier que le texte reprend d'anciennes idées erronées et en ajoute même de nouvelles. Mais en publiant sans délai ses résultats, Agassiz se place à nouveau au-devant de la scène. Il ne se préoccupe que peu de l'ombrage que son ouvrage porte à celui de Charpentier qui paraît moins d'une année après le sien. Les critiques de Charpentier visant certaines de ses affirmations et illustrations mettent fin aux relations cordiales que les deux savants entretenaient. Le ralliement de Studer à la théorie glaciaire, l'identification par Agassiz d'anciens glaciers dans les parties septentrionales des îles britanniques (son plus beau succès scientifique dans ce domaine) ainsi que la publication de très nombreuses notes lui assurent alors la position de leader incontesté de la recherche glaciaire. De 1841 à 1846, ses investigations au glacier de l'Aar mobilisent de plus en plus de chercheurs et d'appuis financiers. A l'époque, cette aventure conduite avec éclat et soutenue par une propagande remarquablement orchestrée, ajoute encore au lustre de ses actions. Les moyens mis en œuvre conduisent à certains succès, mais la solution de la dynamique glaciaire est entravée par une approche physique déficiente. Avant son départ pour les USA, Agassiz rédige à la hâte le premier volume du *Système glaciaire*. Trop marqué par ses anciennes visions, il ne parvient pas à intégrer les nouveaux résultats pour établir une théorie cohérente de la marche des glaciers. De nos jours, cet échec partiel, comme ses autres fautes dans le domaine, sont oubliés et Agassiz reste la figure phare des premières recherches glaciaires, celle à qui l'on doit l'impulsion dont cette discipline a bénéficié alors. Malgré cette situation, il faut être conscient que les principales découvertes dans ce domaine ont été apportées par les Perraudin, Venetz, Charpentier, Guyot et Forbes.

SUMMARY

During Agassiz's stay in Neuchâtel (1832–1846) his scientific output reached its apogee. At that time, his activity was mainly oriented towards biology, above all fossil faunas, (fish, sea urchins, molluscs). In 1836 during a prolonged visit to Bex, Jean de Charpentier gave him the details of the glacier theory, that his friend Ignace Venetz had defended for a number of years and in which he himself believed. To convince Agassiz of the accuracy of this new theory, he took him to the field in the Rhone valley and up to Chamonix. These visits of initiation and striated limestones observed later on the Jura slopes transformed Agassiz from a strong sceptic into a vigorous defender of glaciers as an important agent in the Earth's history.

One year later, before he had made any new research on glaciers, he used the information he had been given to make his famous Neuchâtel speech. With the arguments he had just received, he innovates and shocks his audience by his explanation of the distribution of erratic blocks and his suggestion that the present fauna are new creations replacing those that had vanished during the catastrophic cooling of the glacial age. At that time a large sheet of ice covered the whole of Europe from the North Pole to the Mediterranean. The erratics are considered to be large blocks of rock swept away from the rising Alps that slid on the ice sheets up to the Jura Mountains.

In 1840 after some brief visits to the glaciers, Agassiz publishes his first important volume: *Etude sur les glaciers*. The good description of glacier morphology and the luxurious lay out of the edition with magnificent lithographs makes one forget that the text repeats erroneous ideas and even adds some new ones. In publishing so rapidly Agassiz is once again in front of the stage. He shows little interest in the shadow his work might produce on Charpentier's which was published less than a year after his own. Charpentier's criticism concerning some of Agassiz's affirmations and illustrations puts an end to their cordial relationship, but this does not disturb in any way Agassiz's own enthusiasm to carry out his research on the glaciers.

Studer's support of the glacier theory, the identification by Agassiz of the ancient glaciers in the Northern parts of the British Isles (his most outstanding scientific discovery on this subject) and also his numerous publications assure him the position of unopposed leader of glacier research. From 1841–1846 his investigations of the Aar glacier mobilised many collaborators and an ever increasing financial support. This adventure was brilliantly lead and supported by a remarkably well orchestrated propaganda which adds even more glory to his activities. But despite the important means, progress was limited especially towards the glacial dynamics. Before his departure for the USA, he writes at speed the first volume of the *Glacier system*. Held back by his old visions, he does not manage to incorporate his new results in order to establish a coherent theory. Today this partial hold up like his other faults in this field are forgotten and Agassiz remains the flare of the glacier revolution. This recognition is essentially linked to the credibility, from which he had always profited, as well as his entrepreneurship and his publicity. It is true that, with Schimper's help, he introduced the original and fertile idea of the Glacial period but this genial trait was based on very shallow arguments. One must also be aware that the main scientific discoveries of that time in the glaciology domain were not made by Agassiz but by Perraudin, Venetz, Charpentier, Guyot and even Forbes.

Introduction

Les progrès scientifiques sont le plus souvent attribués à des chercheurs exceptionnels s'élevant au-dessus des acquis de leur temps. Ces pionniers du changement et de la modernité s'appuient souvent sur les travaux de leurs contemporains ou de leurs prédécesseurs dont le potentiel novateur n'a pas été apprécié au moment de sa présentation. Dans le cadre suisse, la découverte des anciennes glaciations et des changements climatiques associés permet de saisir la complexité des filiations et des apports qui ont conduit à l'émergence de l'idée de période glaciaire. Aux yeux de beaucoup, Louis Agassiz (1807-1873), par ses observations et raisonnements, apparaît comme le grand responsable du changement de la pensée géologique dans ce domaine (Imbrie & Imbrie 1979). Cette vision est fortement influencée par les réalisations prestigieuses que le savant a laissées dans d'autres domaines en Suisse et aux USA. Elle ne relève que peu d'une analyse critique de sa contribution scientifique en glaciologie. Après sa disparition, les hommages de sa seconde épouse (Agassiz, E. 1886) et ceux de plus d'un de ses proches ont entretenu l'image de sa belle et glorieuse réputation. Durant la seconde partie du 19^{ème} siècle, le climat d'idéalisme et de stricte morale des pays anglo-saxons fut certainement propice à la mémoire d'un scientifique qui, pour beaucoup, personnifiait la lutte contre le matérialisme et le darwinisme. A cette époque, son ami Marcou (1896) se montrait déjà plus critique sur la valeur de certaines de ses actions. En Suisse, sur le plan de la glaciologie, Portmann (1975) a présenté un portrait très élogieux des travaux glaciologiques d'Agassiz et de son équipe en faisant bien ressortir les retombées et les prouesses de ces premières recherches effectuées en haute montagne. Les études de Carozzi (1966 et 1967) consacrées aux contributions d'Agassiz sur les glaciers montrent déjà mieux la complexité du sujet. Dans une étude dont nous n'avons pris connaissance que tardivement, Rudwick (1969) a remarquablement placé le message glaciologique d'Agassiz dans la perspective de son époque. Il examine, entre autres, la position ambivalente du savant suisse qui pratique aussi bien le catastrophisme par son «âge glaciaire», qu'il préconise l'actualisme par sa recherche où l'analyse de l'état présent doit permettre de reconstruire ceux du passé. Hallam (1989), pour sa part, a présenté avec clarté les grandes lignes du développement de la théorie glaciaire. Il a parfaitement souligné le rôle d'évangéliste joué par Agassiz qui, avec un art consommé, a su répandre la bonne parole dans les Alpes, en Grande-Bretagne et ailleurs.

Ayant examiné attentivement l'ensemble des travaux d'Agassiz consacrés au domaine glaciaire, nous avons été surpris d'y trouver peu de réelles découvertes dans un message qui doit beaucoup à des emprunts pas toujours reconnus. La présente contribution souhaite examiner ces points sur le plan suisse surtout, en comparant les apports d'Agassiz face à ceux des autres acteurs de cette aventure (cf. Tableau, p. 232). On cherchera tout particulièrement à identifier certaines des causes qui ont permis à notre savant, tout au long de sa vie et

Repères chronologiques lors du développement de la théorie glaciaire.

Auteurs	Origine de l'erratique				Glissement sur glacier	Stries glaciaires	par dilatation	Avancée	par gravité	Mesures de déplacement
	Débâcles	Glaciers	Explosions	Icebergs						
de Saussure 1779	+								+	
Hutton 1795		+								
Playfair 1802		+								
de Luc 1813			+							
von Buch 1815	+									
Perraudin 1818 ¹⁾		+				+				
Escher 1819	+	o							(+)	
Elie de Beaumont 1829	+	o								
Goethe 1829 ²⁾		+								
Hügi 1830										+
Lyell 1830				+						
Venez 1833		+								
Agassiz 1835	+	o								
Charpentier 1835	+	o								
Lyell 1836				+						
Agassiz 1837		+			+	+	+			
von Buch 1837	+	o				o				
Guyot 1838 ³⁾		+				+				
Studer 1838	+	o				o			+	
Darwin 1839				+						
Studer 1839		+				+				
Agassiz 1840	o	+	o	o	+	+	+	o	+	
Elie de Beaumont 1840	+	o				o				
Escher 1840		+								
Charpentier 1841	o	+	o	o	o	+	+	o		
Rendu 1841	o	+							+	
Forbes 1842a	o	+				+	?	?		
Forbes 1843	o	+				+	o	?	+	*
Agassiz 1848	o	+	o	o		+	?	?	?	*

1) cf. Forel 1899

2) cf. von Engelhardt 1999

3) cf. Guyot 1883

La liste des auteurs et de leurs travaux cités est partielle et ne peut être que partielle. Les opinions souvent nuancées des auteurs ont malheureusement dû être regroupées sous des dénominations générales.

Les impressions en caractères **gras** soulignent les contributions importantes des auteurs analysés, celles en *italique* évoquent les revirements.

+ adhésion

o contestation

(+) opinion présentée en d'autres circonstances

* mesures précises de déplacement.

? doutes

actuellement encore, d'occuper presque sans partage l'avant-scène des premiers développements de la théorie glaciaire. Les recherches glaciaires d'Agassiz et son influence en Amérique analysées par Carozzi (1974) ne seront pas abordées dans ce qui suit. A ce jour, l'étude la plus fouillée sur le développement de la théorie glaciaire en Suisse se trouve dans l'important volume que Cunningham (1990) a consacré à J. D. Forbes où l'auteur souligne lui-aussi le manque d'originalité de la contribution d'Agassiz. Malheureusement nous n'avons pris connaissance de cet important travail qu'au moment où notre article était prêt à être imprimé.



Fig. 1. Louis Agassiz. Portrait d'auteur inconnu, vers 1839 à l'époque de ses premières recherches sur les glaciers. Bibliothèque publique et universitaire de Neuchâtel.

En 1832, Agassiz (Fig. 1) qui n'a que 27 ans est déjà reconnu par beaucoup comme l'une des prochaines étoiles du monde scientifique. Par les relations privilégiées qu'il a pu et su cultiver avec les grands savants de son temps, dont Humboldt et Cuvier, il jouit, en Allemagne comme en France, d'une réputation étonnante par rapport à son âge; bientôt il sera reconnu tout aussi avantageusement en Grande-Bretagne. Pour le moment, il vient d'être appelé à Neuchâtel pour y enseigner les Sciences naturelles. Montrant en toutes circonstances une parfaite aisance, grand, bel homme, il sait écouter. Pour réaliser toutes ses ambitions, il ne lui manque qu'une belle fortune. Rapidement et sans trop de difficultés, son charme lui permettra de se libérer de cette entrave et de trouver les soutiens lui permettant de s'engager dans des réalisations de prestige. Ses intérêts scientifiques sont alors essentiellement tournés vers la zoologie. Il n'en désire pas moins, ainsi qu'il l'a exprimé très tôt, dominer l'ensemble des sciences naturelles «Je voudrais qu'on pût dire de Louis Agassiz: Il fut le premier naturaliste de son siècle.» (lettre à son père du 14 février 1829 in Agassiz, E. 1887). Durant ses études déjà, grâce à ses contacts avec son futur beau-frère, Alexander Braun, et avec Karl Schimper, il a acquis une bonne maîtrise de la botanique. En géologie, ses recherches sur les poissons fossiles lui ont

donné une large connaissance de l'histoire de la terre et des faunes qui l'ont peuplée. A Neuchâtel, dès le début de son enseignement, il puise dans les excellentes descriptions régionales que von Buch a consacrées au pays de Neuchâtel pour accroître ses connaissances de la géologie locale. Principal animateur de la Société des Sciences naturelles locale, il engage celle-ci dans des publications de valeur comme le mémoire de Montmollin sur le terrain crétacé du Jura (Néocomien) et les travaux de géologie régionale de Montmollin et de Nicolet. Ces études et celles de Gressly qu'il cautionne de son autorité scientifique, transforment la petite place de Neuchâtel en un centre scientifique reconnu (Schaer 1998). Dans cette principauté suisse et prussienne, il sait que von Buch (1815) et d'autres illustres devanciers, H. B. de Saussure (1779), André Deluc (1813) entre autres, se sont prononcés sur l'origine des blocs erratiques disséminés sur les premières pentes du Jura. Il est ainsi assez normal que lui aussi s'engage sur ce sujet.

Le 16 novembre 1835, alors qu'il est à Paris, il assiste à la séance de la Société géologique de France. Ch. Lardy, inspecteur des forêts du Canton de Vaud, y présente, par l'intermédiaire d'Elie de Beaumont, ses observations sur l'éboulement survenu le 25 août à la Dent du Midi dont il a été le témoin avec J. de Charpentier. «...une portion assez considérable de cette cime (Dent du Midi) se détacha tout à coup sur l'arête orientale et se précipita avec un bruit épouvantable sur le glacier, situé sur le revers méridional de la Dent, dont elle entraîna dans sa chute un immense quartier.»

«Bientôt on vit déboucher de la gorge, comme une montagne d'une boue noire et visqueuse, à la surface de laquelle flottaient des quartiers de roc de toutes les dimensions (il y en avait de 12 pieds de hauteur).»

«Malgré la petitesse de ses dimensions, ce phénomène paraît à M. Elie de Beaumont présenter de l'intérêt, à cause des inductions auxquelles il conduit, relativement au mode suivant lequel a pu s'opérer le transport des blocs diluviens» (Lardy, 1835).

A la suite de cette présentation «M. Agassiz communique quelques observations sur la distribution des blocs erratiques sur les pentes du Jura. Il croit que ces blocs existent non seulement sur le revers oriental, mais sur les sommets des chaînons successifs, vers l'est et dans le fond des vallées, et que l'apparence des niveaux constants auxquels on a cru les rencontrer provient de la régularité des talus de cette chaîne. Cette opinion nous paraît contraire à tout ce que nous avons observé dans la partie centrale du Jura, et ce n'est que vers la frontière de la vallée du Rhône que les blocs erratiques alpins ont franchi les premiers chaînons du Jura» (Agassiz 1835).

Au cours de l'hiver 1835-36, les notes prises par l'un de ses étudiants (Surdez 1973, V.F.19.3), montrent qu'Agassiz reste préoccupé par la question de l'erratique. Dans son enseignement, il fait part des différentes hypothèses qui ont été proposées pour expliquer la distribution de ces matériaux : violents courants d'eau et de boue, transport par des glaces flottantes, glissement sur une surface glacée lors du soulèvement des Alpes. Cette dernière interprétation lui paraît la meilleure. Il

ajoute: «Néanmoins un géologue valaisan, M. Venez (sic), vient d'émettre une opinion bizarre mais qu'il ne faut pas repousser sans examen. Les glaciers étaient beaucoup plus étendus. On peut donc supposer que les glaciers étendaient leurs pentes jusque par-dessus le Jura et que les blocs de granit qui avaient roulé sur leurs flancs sont restés en place après le retrait des glaces. Ici cependant la bizarrerie va trop loin, l'hypothèse n'est pas admissible» (cf. Tableau, p. 232).

Au printemps 1836, Agassiz, malgré sa forte constitution, se voit contraint de prendre un peu de repos pour retrouver son allant et sa créativité. Les vacances projetées sont également destinées au rétablissement de son épouse qui, à la fin de l'année précédente, lui a donné un fils. Elle se sent quelque peu délaissée à Neuchâtel où elle n'a pas retrouvé le climat intellectuel qu'elle connaissait à Karlsruhe chez son père. On décide ainsi de passer quelques mois dans le calme de la vallée du Rhône, dans les environs de Bex, près du domicile de Jean de Charpentier (1786–1855), le directeur de la mine de sel locale. Cette solution doit permettre à Madame Agassiz de rencontrer une compatriote, la sœur cadette de Charpentier, et non pas, comme le prétend Marcou, Madame Charpentier, décédée en 1830 déjà. Agassiz pour sa part se livrera aux charmes de la science locale avec un parfait naturaliste qui, en dehors de la géologie et minéralogie, pratique avec compétence, la botanique et collectionne les mollusques terrestres et d'eau douce. En correspondance depuis 1833 (d'après Marcou 1896), les deux hommes se sont probablement rencontrés pour la première fois en juillet 1836, lors de la réunion de la Société helvétique des Sciences naturelles à Soleure. Bien que Charpentier jouisse du titre de professeur de l'Académie de Lausanne, il ne semble pas y avoir enseigné (communication de M. Weidmann); il est donc peu probable qu'ils se soient déjà croisés à l'époque où Agassiz étudiait dans cette institution (Carozzi 1967). A Bex, Agassiz désire avant tout reprendre des forces. Mais il est fort probable qu'il vient aussi avec l'idée de s'entretenir avec Charpentier du phénomène glaciaire et si possible de visiter en sa compagnie les localités qui sont à la base des positions extrêmes qu'il vient de défendre dans trois publications récentes (Charpentier 1835b et 1836a et b). Pour sa part, Charpentier est sans doute ravi d'accueillir ce jeune et déjà distingué savant.

Ignaz Venetz (1788–1859), le grand pionnier

Bien que l'histoire des premiers travaux sur les variations des glaciers valaisans, ceux du bassin du Rhône et de l'erratique en général par Perraudin, Venetz et Charpentier, ait fait l'objet d'études fort sérieuses, les mérites respectifs de ces acteurs restent souvent mal appréciés. Dans son *Essai sur les glaciers*, Charpentier (1841, p. 241–48) avait déjà donné les grandes lignes de cette aventure. Peu d'éléments fondamentalement nouveaux sont venus modifier cette présentation, bien qu'on sache actuellement que d'autres chercheurs, dont Hutton (cf. Hallam 1998) et Goethe (cf. von Engelhardt 1999), avaient antérieurement reconnu ou envisagé l'importance du transport

des blocs erratiques par les glaciers. Ces prédécesseurs ne furent ni compris ni reconnus par leurs contemporains. Il en est tout autrement pour Venetz, Charpentier et Agassiz.

Parmi les trois pionniers nommés, Venetz est certainement celui dont la pensée et l'imagination contrôlée méritent le plus d'admiration; c'est aussi celui qui a été le plus délaissé par les feux de la gloire internationale. Plusieurs études ont pourtant fort bien retracé la vie de l'homme et de son apport scientifique fondamental (Berchtold & Baumann 1990). L'impact de son message n'a cependant que rarement dépassé les frontières suisses et les cercles limités des spécialistes. De nos jours, la méconnaissance dont il est frappé se trouve renforcée par les difficultés qu'on rencontre à mettre la main sur ses publications. Au moment de la présentation de ses travaux, trop dépouillés peut-être, l'ingénieur Venetz rencontre du reste déjà bien des difficultés pour se faire entendre des naturalistes auxquels il s'adresse. Ceux-ci étant, comme à l'ordinaire, peu disposés à reconnaître les mérites d'un observateur qui ne fait pas partie de leur cercle.

Formé comme ingénieur, Ignace Venetz montre tout au long de sa vie un intérêt marqué pour les sciences naturelles, les glaciers surtout, mais également la botanique, l'entomologie et la malacologie. Dans ses activités professionnelles, il est placé très tôt face à la réalité de la dynamique glaciaire. En 1818, les importantes chutes de séracs issues du glacier de Giétro en progression provoquent au niveau du détroit de Mauvoisin un barrage de glace qui retient les eaux de la Drance dans un lac de 3,5 km de long et de 60 m de profondeur. En tant qu'ingénieur cantonal du Valais, Venetz est chargé par le gouvernement de proposer des mesures pouvant minimiser les dégâts que provoquerait la rupture de ce barrage. Charpentier et Escher von der Linth sont à ses côtés en tant que conseillers. Ici, comme à Randa, Mattmark et le long de la route du Simplon, Venetz reconnaît que les glaciers ont connu des extensions anciennes beaucoup plus importantes que celles de l'époque contemporaine.

Sous les effets de ce phénomène, divers milieux s'inquiètent de la détérioration du climat et des conséquences que cette situation peut entraîner en zone de montagne. En 1817, lors de son assemblée de Zurich, la toute jeune Société helvétique des Sciences naturelles (SHSN) ouvre un concours doté de prix. Les candidats doivent apporter des preuves des variations climatiques enregistrées dans les régions alpines de la Suisse et des pays voisins et présenter des observations précises touchant la limite des forêts et celle des neiges. Un seul travail, celui du forestier K. Kastofer, est présenté et récompensé même s'il ne répond que très partiellement aux questions posées. Jugeant que son enquête est trop vaste, la SHSN maintient son appel mais en réduit le sujet qui devient : «Rassembler des faits exacts et bien observés sur l'accroissement et la diminution des glaciers dans les diverses parties des Alpes, sur la détérioration ou l'amélioration de leurs pâturages, sur l'état antérieur et actuel des forêts». Seul Venetz adresse un travail à la SHSN jusqu'à la date limite de 1822. Précédé par deux courtes notes (Venetz 1829 et 1830), il ne sera publié

qu'en 1833, entre autres pour que l'auteur puisse modifier certaines parties de sa rédaction.

Sur la base d'observations morphologiques et de recherches historiques, Venetz apporte la preuve des nombreuses et importantes variations enregistrées par la limite des forêts et celle des glaciers. Au cours des temps historiques, ces derniers ont tour à tour facilité ou rendu difficiles les échanges entre les vallées. Son travail se termine par les conclusions suivantes :

«Nous sommes donc en quelque manière autorisés à croire:

- 1) Que les moraines qui se trouvent à une distance considérable des glaciers, datent d'une époque *qui se perd dans la nuit des temps*.
- 2) Que les faits que nous avons cités pour prouver un abaissement de température, sont plus récents que les dites moraines.
- 3) Que celles qui se trouvent près des glaciers peuvent être des deux derniers siècles.
- 4) Que la température s'élève et s'abaisse périodiquement, mais d'une manière irrégulière.
- 5) Que, selon les apparences, le refroidissement de cette époque est arrivé à son terme.
- 6) Que les glaciers parviendront difficilement à la hauteur gigantesque dont nous trouvons tant de vestiges, et que nous pouvons nous tranquilliser sur l'extension présumée de la région des glaces en général» (Venetz 1833, p. 38).

Dès cette publication, les grands thèmes de la climatologie historique sont énoncés : faibles amplitudes des variations climatiques durant les temps historiques alors que des déviations plus importantes ont existé antérieurement avec une dégradation majeure dans des temps très reculés. Le climat de ces époques lointaines a permis la formation de glaciers gigantesques qu'attestent les blocs erratiques rencontrés dans les Alpes, dans le Jura ainsi que dans plusieurs contrées du nord de l'Europe (Venetz 1830) (cf. Tableau, p. 232). Charpentier et Agassiz n'auront en fait qu'à exploiter les découvertes de cet ingénieur, d'y ajouter, par des exemples régionaux judicieusement choisis, l'analyse même des glaciers et celle des terrains erratiques. Ultérieurement, il faudra aussi essayer de démêler la dynamique glaciaire et trouver des explications aux fluctuations dans le temps de la température terrestre. Les solutions de ces problèmes ne s'imposeront que très lentement puisque certaines se trouvent encore aujourd'hui dans le domaine de la recherche active.

L'itinéraire de Charpentier

Rappelons ici pour mémoire que Charpentier s'était d'abord opposé aux idées de Venetz. «Pour convaincre mon ami de l'erreur dans laquelle il me semblait être tombé, je m'appliquai à étudier d'une manière spéciale le terrain erratique et toutes les circonstances qui l'accompagnent. Mais cette étude me conduisit à un résultat tout opposé à celui auquel je m'étais at-

tendu. En effet, loin de me fournir des arguments contre l'hypothèse des glaciers, je reconnus clairement qu'elle expliquait de la manière la plus satisfaisante le terrain erratique jusque dans ses moindres détails et tous les phénomènes qui s'y rattachent» (Charpentier 1841, p. 244). A la suite de ce revirement, lors de la réunion de la SHSN de Lucerne en 1834, Charpentier présente une communication: *Annonce d'un des principaux résultats des recherches de Mr. Venetz, ingénieur des Ponts et chaussées du Canton du Valais, sur l'état actuel et passé des Glaciers du Valais*. Sa conférence n'éveille que peu d'intérêt. Contrairement à certaines informations, (Cunningham 1990); Agassiz n'est pas présent étant sur le point de se rendre pour la première fois en Grande-Bretagne ou étant déjà en route. Les comptes-rendus des séances en donnent un résumé d'une trentaine de lignes, ainsi que cela se pratique du reste pour les communications ordinaires. Pour donner plus d'éclat à son message, Charpentier publie une note intitulée: *Sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse* (Charpentier 1835b) (cf. Tableau, p. 232). En 1836, il en donne, avec quelques adjonctions mineures, une version allemande (Charpentier 1836a), puis, en reprenant le titre de la conférence de Lucerne, une autre en anglais (Charpentier 1836b). Elle paraît dans *The Edinburgh Philosophical Journal*. L'éditeur de cette revue, R. Jameson, avait déjà proposé, dès 1827, dans ses cours universitaires, que des glaciers avaient existé en Ecosse (Boylan 1998). Il se montre ainsi particulièrement intéressé par tout ce qui touche aux théories glaciaires. Au cours des ans, sa revue ainsi que la *Bibliothèque universelle de Genève* deviendront les deux principales voies de circulation de l'information dans ce domaine. En donnant une large diffusion internationale à ses travaux, Charpentier montre qu'il est conscient de la valeur de son message. Mais jamais il ne manque de souligner sa dette vis-à-vis de Venetz.

Lors de son séjour près de Bex, Agassiz loge à La Sala, à moins de 1 km de «la Villa solitaire» des Dévens, la résidence de Charpentier. Cette proximité facilite grandement les contacts, rend facile l'organisation d'excursions en commun dans les environs immédiats ou vers des destinations plus lointaines comme la vallée de Chamonix ou le glacier des Diablerets. Agassiz tire certainement un grand profit de ces visites guidées et probablement aussi de courses faites en solitaire dans la région, sur les indications de Charpentier. Dans ses publications, il ne manque pas de faire appel aux observations glanées dans les environs de Bex et dans la basse vallée du Rhône valaisan; cependant, jamais il ne mentionne les circonstances dans lesquelles elles furent acquises.

Le retour d'Agassiz à Neuchâtel

Dans les années 1830, Agassiz est avant tout occupé par la publication de son important ouvrage sur les poissons fossiles. Bien que ne disposant d'aucune fortune personnelle, il persiste à publier ses recherches dans des éditions luxueuses enrichies par de superbes lithographies. A cet effet, il a mis sur pied un atelier qui, avec quelque 20 employés, travaille essentiellement

pour lui. Au-delà, il joue le rôle d'agent commercial assurant ventes, expéditions et recouvrements des frais engagés. A cette époque, la recherche glaciaire paraît être un sujet relativement marginal de ses occupations. Pour cette raison, peu de documents ont été conservés nous permettant de saisir les premières phases de cette aventure. Ainsi, il n'existe aucune trace de correspondance avec Charpentier sur ce sujet avant ou peu après la visite à Bex, pas plus que des allusions se rapportant aux premières observations de stries glaciaires dans la région de Neuchâtel. Les affaires sérieuses débutent le 1er mars 1837. Ce jour-là, à la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel, M. Godet fait part de son voyage en Scanie où il a été très impressionné par l'abondance des blocs erratiques qui couvrent le pays. Le compte-rendu de la séance rapporte: «Agassiz pense qu'il faut attribuer leur présence et leur disposition à l'action et au mouvement d'immenses nappes de glace, qui les ont déposés où ils sont, à l'époque de leur dernière apparition. Ces phénomènes, dont on retrouve partout des traces au centre de l'Europe, doivent se présenter sur une bien plus grande échelle encore dans les pays plus septentrionaux. M. Agassiz ajoute qu'on arrivera à reconnaître que ces masses de glace, qui ont précédé la création actuelle, ont produit les effets les plus étonnants : ce qui donnera la clef pour la solution de bien des phénomènes sur lesquels la science n'a encore que des hypothèses plus ou moins satisfaisantes» (Agassiz 1837a). Cette communication qui précède de quelques mois le *Discours* de Neuchâtel contient déjà les deux éléments majeurs qu'Agassiz développera dans ses publications ultérieures:

- a) les zones de plaines étaient recouvertes par des nappes de glace qui n'ont que peu de relations avec les glaciers alpins (cette proposition, justifiée pour évoquer la carapace de l'Europe septentrionale, est bien moins heureuse lorsqu'elle est appliquée, comme le fait Agassiz, aux glaces du Plateau suisse);
- b) la disparition des faunes anciennes sous l'effet des froids extrêmes n'est encore présentée que sous forme d'allusion. A l'époque de ces faits, Schimper se trouve à Neuchâtel. Le 15 février, donc avant le commentaire d'Agassiz, il avait présenté, dans le même cercle, une communication botanique et distribué un poème imprimé, à la fois scientifique et humoristique, où figure pour la première fois la mention «Eiszeit». Ces faits montrent que, dès le début de l'année 1837, l'entourage d'Agassiz est informé de son vif intérêt pour les phénomènes glaciaires. On connaît probablement aussi ses propositions associant la disparition des faunes anciennes et leur remplacement par les faunes actuelles à la suite d'une brusque détérioration du climat.

Le discours de Neuchâtel

En sa qualité de président de l'Assemblée annuelle de la SHSN réunie à Neuchâtel en 1837, Agassiz a le devoir d'y présenter le discours d'ouverture. Traditionnellement ces allocutions étaient consacrées à une revue des activités scientifiques

de la Société sur le plan suisse ou sur un plan plus local; les plus ambitieuses vont jusqu'à évoquer le rôle de la science parmi les activités humaines. En présentant les résultats de ses toutes récentes considérations sur les glaciers, Agassiz s'éloigne résolument de ces modèles. Dans la biographie de son mari, Elisabeth Agassiz (1887) prétend que les congressistes s'attendaient à ce qu'Agassiz évoque ses dernières recherches sur les poissons fossiles et que le discours sur les glaciers aurait été écrit dans la nuit précédant sa présentation. Ces deux informations nous paraissent douteuses. La première parce qu'il n'était pas d'usage que le président fasse part de ses travaux personnels. De plus, Agassiz savait soigner ses effets. Il est donc peu probable qu'il se soit adressé sans préparation à un auditoire réunissant plusieurs savants bien informés, et depuis longtemps, des problèmes de l'erratique (L. von Buch, B. Studer, A. Escher von der Linth, J. de Charpentier). Incontestablement, par son discours, Agassiz cherchait à provoquer une sensation et, sur ce point, son but fut pleinement rempli. Le compte-rendu de la session par F.E. Terrisse (1931) (cf. A. Carozzi 1967) comme celui de I. Macaire (1837a) évoquent mieux que les Actes de l'assemblée la vivacité des réactions des congressistes. Ce dernier écrit: «M. de Buch et plusieurs autres membres de la section de géologie, énumèrent quelques-unes des objections que l'on peut faire aux idées émises par ce savant professeur (Agassiz). Le premier cite un grand nombre de faits recueillis dans ses nombreux voyages, et qui sont inconciliables avec la supposition que les blocs erratiques ont été amenés par des glaciers.... D'autres membres pensent qu'il est impossible d'attribuer à une cause unique et extraordinaire un effet qu'un grand nombre de causes connues peuvent avoir produit, et que quelques-unes continuent même à produire de nos jours...»

«Cette discussion, dont nous regrettons de ne donner qu'une esquisse fort imparfaite, a excité un vif intérêt, et quoique, comme il arrive souvent, chacun a gardé sa manière de voir, nous espérons qu'il en aura résulté cet esprit de prudence qui empêche de se livrer avec trop d'enthousiasme aux séductions de brillantes hypothèses. Certes, les géologues suisses se sont fait remarquer, dans ces dernières années, par trop de bons et solides travaux pour qu'il ne fût pas à regretter qu'ils abandonnassent ce champ fertile, et se livrassent à des conceptions qui ne peuvent amener que d'inutiles controverses. Gardons-nous de faire revivre, même partiellement, ces temps si fâcheux pour la géologie, ou chacun faisait le monde à sa mode, et continuons à recueillir avec patience les matériaux vraiment utiles, les faits bien observés, dont notre pays promet une si abondante moisson» (Maire 1837a).

Le contenu scientifique du discours

Le discours d'Agassiz, bien analysé par Carozzi (1966 et 1967) et par Cunningham (1990) comprend essentiellement deux parties: la première décrit les traces glaciaires dans les Alpes et sur les pentes du Jura. En dehors des informations sur cette dernière région, elle s'appuie exclusivement sur les informa-

tions recueillies au contact de Charpentier. La seconde développe les conséquences biologiques liées à la récente détérioration du climat terrestre; elle est riche d'hypothèses construites sur des spéculations hasardeuses dont bien peu se trouvent alors maîtrisées. Au cours des années, elles devront pratiquement toutes être abandonnées. On constate de plus que l'idée même de la soudaineté des grands froids, la période glaciaire, est directement reprise de Cuvier (1825): cette catastrophe «a laissé dans les pays du nord des cadavres de grands quadrupèdes que la glace a saisis, et qu'ils se sont conservés jusqu'à nos jours dans leur peau, leur poil, et leur chair. S'ils n'eussent été gelés aussitôt que tués, la putréfaction les aurait décomposés. Et d'un autre côté, cette gelée éternelle n'occupait pas auparavant les lieux où ils ont été saisis, car ils n'auraient pas pu vivre sous une pareille température. C'est donc le même instant qui a fait périr les animaux et qui a rendu glacial le pays qu'ils habitaient» (cf. Gohau 1990, p. 150).

Agassiz se montre pour le moins discret vis-à-vis des emprunts qu'il a contractés pour développer son sujet. Il reconnaît pourtant: «il existe encore d'autres moraines que celles qui cernent de nos jours les glaciers. Ce sont MM. Venetz et de Charpentier, qui les ont fait connaître les premiers. On les observe principalement dans les vallées inférieures des Alpes. Mais il est un côté de cette question qui doit être contesté, c'est la liaison que l'on cherche à établir entre les blocs erratiques et les glaciers que cernaient les grandes moraines dont on retrouve encore les traces sur les rives septentrionales du lac de Genève. C'est de ce dernier point que j'ai l'intention de vous entretenir en particulier» (Agassiz 1837b, p. VIII).

«Les faits¹ observés par MM. Venetz et de Charpentier sont cependant définitivement acquis à la science; aussi importe-t-il d'en proclamer hautement l'exactitude; car de là dépend naturellement la validité de toutes les conséquences que l'on peut en tirer» (Agassiz 1837b, p. VIII).

On le voit, Agassiz ne reconnaît à ses prédécesseurs que la priorité de la découverte des moraines situées au-delà des glaciers actuels. Son analyse, par contre, développe des considérations de portées plus générales. De plus, alors que leurs travaux traitent essentiellement des glaciers alpins, il apporte des données nouvelles provenant des pentes du Jura où les glaces se rattachent à une large nappe de glace indépendante des glaciers alpins. A ses yeux, son message mérite l'attention de ses contemporains essentiellement par la liaison qu'il propose entre les variations climatiques et le renouvellement des faunes (cf. Rudwick 1969, particulièrement sa note 33a et le texte s'y rapportant). Contrairement à ce que suggère Studer dans son compte-rendu de la réunion de Neuchâtel (Studer 1837), il ne tient nullement à défendre la théorie de Venetz et Charpentier. Il désire même la réfuter car ses observations sur les blocs erratiques du Jura lui donnent la preuve que ceux-ci

ne sont pas liés à des moraines (Agassiz 1838a). Cette petite note lui permet aussi de se montrer sans complaisance vis-à-vis de plusieurs de ses contradicteurs puisque seuls von Buch, Meyer et Elie de Beaumont ont répondu à son invitation de visiter les localités où s'observent les stries glaciaires.

Après le Discours

Les remarques de Macaire visant les géologues qui se livrent «aux séductions de brillantes hypothèses» n'ont probablement pas été du goût d'Agassiz. Dans une lettre adressée à ce commentateur, datée du 30. 9. 1837, il ne revient pas sur ce point, mais réclame la possibilité de faire paraître, dans la revue de Genève, un rectificatif destiné à rétablir le sens de son discours de Neuchâtel. A ses yeux, celui-ci a été totalement défiguré par le compte-rendu publié. Dans sa réponse, le rédacteur (Macaire 1837b) justifie son texte rédigé sans le soutien des notes qu'Agassiz devait lui remettre avant son rapide départ pour l'Allemagne. Privé de cet appui, il a utilisé les récentes publications de Charpentier que cet auteur a bien voulu mettre à sa disposition. Il indique: «Nous avons cru entendre dire, en effet, à l'honorable président de la société (lors des discussions de la section de géologie), qu'il partageait entièrement les vues de M. de Charpentier sur cette question intéressante. Il paraît qu'il n'en est ainsi que pour l'idée mère, et M. Agassiz nous adresse à ce sujet une lettre à laquelle nous nous empressons de faire droit, en insérant textuellement les réclamations suivantes :

«Je n'ai admis (c'est M. le Professeur Agassiz qui parle) des publications de MM. Venetz et de Charpentier, que l'exactitude des faits observés relativement aux *grandes moraines et au poli des flancs des vallées alpines*. Ces faits ont été pour moi la démonstration que c'était la glace qui les avait produits. Les faits nouveaux que j'ai observés sont: des polis semblables sur toute la pente méridionale du Jura, et la forme et la position des blocs du Jura que j'ai mieux étudiés. Mais je me suis constamment opposé à admettre que ces blocs aient été mus devant des glaciers descendant des Alpes, et avançant jusqu'au Jura, car dans ce cas les blocs erratiques du Jura seraient arrondis et pourtant ils sont anguleux. Je n'ai jamais admis, pour expliquer la présence des glaces, que les Alpes aient été plus élevées qu'elles ne le sont; au contraire j'ai soutenu, avec M. Schimper, que la formation de ces grandes masses de glace était *antérieure* au soulèvement des Alpes, que les blocs avaient glissé sur la glace *lors* du soulèvement des Alpes, et que la glace avait commencé à se retirer, jusque dans ses limites actuelles *tôt après* le soulèvement des Alpes. Enfin j'ai cherché à lier cette époque de glace entre deux époques géologiques dont la température était plus élevée, avec le fait bien connu du refroidissement général de la terre, en faisant voir que la disparition des êtres organisés de l'époque diluvienne devait se lier à un grand refroidissement, et l'apparition des êtres vivants contemporains de l'homme à une élévation de la température qui est cependant restée au-dessous de celle de l'époque précédente.» (Macaire 1837b)

¹ Souligné par Agassiz

Les objections présentées lors de l'Assemblée de Neuchâtel (von Buch 1837), ainsi que le compte-rendu de Macaire ont pu inciter Agassiz, même s'il s'en est défendu, à apporter quelques retouches à son discours lors de sa publication. Constatant que le débat scientifique sur le renouvellement des faunes se trouve relégué au second plan au profit des propositions de la grande extension des glaciers de Venetz et Charpentier, irrité, il a peut-être jugé qu'il n'y avait pas lieu de souligner leurs apports. Dans cette perspective, il est possible d'expliquer, en partie au moins, l'absence de reconnaissance témoignée à Charpentier pour son initiation. Le manque de cordialité et de reconnaissance vis-à-vis de ce dernier est d'autant plus flagrant qu'il souligne que son travail est «le résultat de la combinaison de mes idées avec celles de M. Schimper» (Macaire 1837b). Là, il est explicite sur l'aide reçue. Il est vrai qu'il s'agit de faire un geste envers un ami d'étude dont il semble connaître la susceptibilité !

Une mise au point comparable à celles de la Bibliothèque de Genève paraît également au Neues Jahrbuch (Agassiz 1838a). Elle souligne aussi le besoin qu'Agassiz éprouve à se distancer des travaux de Charpentier. Le *Discours* est également traduit et publié en anglais (Agassiz 1838c). Agassiz n'est pas suffisamment ébranlé par les nombreuses critiques qui lui ont été adressées pour modifier sa position de fond. De toute façon, il doit être satisfait que son action d'éclat ait focalisé l'attention du monde scientifique sur le problème glaciaire et de plus sur sa personne qui, en très peu de temps, est ainsi devenue l'étendard d'une nouvelle croisade. Une bonne part de la célébrité de la communication de Neuchâtel tient au fait qu'elle présente pour la première fois et avec fracas l'idée d'une récente détérioration du climat terrestre avec ses conséquences catastrophiques. Agassiz, ordinairement peu scrupuleux des emprunts pris chez ses collaborateurs, renonce ici à se servir de l'expression de période glaciaire «*Eiszeit*» proposée par Schimper. Il laisse à son ami l'honneur de faire paraître cette heureuse tournure dans la lettre publiée en annexe du *Discours*. Au delà des critiques, soulignons cependant qu'Agassiz analyse mieux que ses prédécesseurs la spécificité et les particularités des stries glaciaires. Pour lui, ces traces d'érosion permettent à elles seules de situer l'extension d'anciens glaciers comme cela peut se faire dans le Jura.

Bien après son départ de Neuchâtel, Agassiz sentira encore le besoin de rappeler l'importance de l'intégration du phénomène glaciaire dans l'histoire terrestre : «C'est moi qui ai posé la question d'une époque glaciaire et qui l'ait fait prévaloir» écrira-t-il à Marcou en 1868 (Marcou 1896, p.110–111). Bien que cette proposition novatrice ait été alors formulée sur des bases très fragiles, elle illustre parfaitement l'intuition d'un savant en avance sur la pensée de son temps.

Premières visites aux glaciers

En 1838, soit une année après son discours, Agassiz décide de visiter plusieurs glaciers des Alpes suisses afin de confirmer sa vision qui ne repose encore que sur des observations hâtives et

sur l'enseignement de Charpentier. Au printemps, lors d'un voyage à Paris, il recrute, pour le seconder, son compatriote et ami de longue date Arnold Guyot qui a été formé en géographie chez K. Richter à Berlin. Durant cet été, alors qu'Agassiz se contente de très courtes visites dans les Alpes, son collaborateur consacre les six semaines de sa période de vacances à l'exploration des glaciers du Haut-Valais et de l'Oberland bernois. Sa moisson est substantielle mais restera dans l'ombre (Guyot 1883). Tout au long des campagnes glaciaires neuchâtelaises, contrairement aux autres associés d'Agassiz, Guyot poursuivra sa recherche en solitaire. Timide et réservé, il semble craindre de succomber à l'emprise du discours de son ami. Bien que plaisant et généralement enrichissant, il sait que celui-ci s'appuie trop souvent sur des observations entreprises au pas de charge. Au cours de leur longue collaboration, il est certainement regrettable qu'Agassiz n'ait pas su mieux utiliser les qualités de ce fidèle mais trop discret collaborateur. En 1838 déjà, après sa première campagne sur les glaciers, Guyot a reconnu la structure lamellaire des glaciers, l'avancement plus rapide de la zone centrale par rapport à celle des bords, l'avancement plus rapide de la partie supérieure par rapport à celle du fond. Il envisage même que le mouvement de la glace se fasse au moyen d'un «déplacement moléculaire» qui donne au glacier une certaine plasticité. Une malheureuse et importante indisposition ne permet pas à Guyot de mettre un point final à la note qu'il a préparée. Elle ne sera publiée que tardivement (Guyot 1883) (cf. Tableau, p. 232). Agassiz a certainement pris connaissance de ces importantes découvertes, mais comme elles ne correspondaient pas à ses vues, elles furent rapidement oubliées. Une partie du texte préparé par Guyot, mais non encore publié, sera pourtant incorporée au *Système glaciaire* afin qu'Agassiz puisse prouver qu'il avait eu très tôt connaissance de la structure interne des glaciers (Agassiz 1847, p. 207–209).

C'est en 1838 qu'Agassiz se rend pour la première fois au Grimsel. Il entraîne avec lui un groupe de six collaborateurs, amis, secrétaire et dessinateur. C'est le début des expéditions scientifiques multidisciplinaires qui le conduiront pratiquement chaque année sur les glaciers des Alpes jusqu'à son départ en 1846 pour les USA. Les équipes accompagnant Agassiz dans ces campagnes bénéficient de plusieurs avantages. Le climat de franche et cordiale amitié qu'il sait entretenir favorise la collaboration et par là accentue la capacité du groupe à progresser. L'incorporation de chercheurs formés dans des disciplines variées facilite l'approche interdisciplinaire qui paraît nécessaire pour aborder l'ensemble des problèmes rencontrés. La présence d'un cercle d'auditeurs réceptifs permet à Agassiz de montrer toute l'étendue de ses connaissances. En permanence il peut ainsi tester ses nouvelles idées et faire apprécier ses qualités pédagogiques toujours prêtes à se manifester. Au cours des années, ce besoin de spectacle et d'enseignement face aux auditeurs admiratifs qui l'accompagnent prendra de plus en plus d'importance. Dans les expéditions américaines, celle du Lac Supérieur, du Brésil ainsi que celle autour du Cap Horn, elles finiront par dominer les objectifs de la recherche.

Durant cette première tournée au Grimsel, faute de temps, on renonce à se rendre sur les glaciers. Parmi la troupe d'accompagnants se trouve Edouard Desor, un jeune assistant qu'Agassiz vient d'engager comme secrétaire. Celui-ci s'illustre rapidement par sa participation active à l'exploration. Ses qualités d'intendant, d'observateur attentif et sa capacité d'adaptation au milieu dans lequel il se trouve plongé font de lui un collaborateur à part entière dont le rôle dépasse sa fonction officielle. Grâce à ses multiples dons et à sa ténacité, il est rapidement promu au rang de premier adjoint. Il ne tarde pas à signer ses propres communications sur les glaciers (1840) et devient le chroniqueur fidèle et captivant des séjours de la troupe neuchâteloise dans les Alpes et sur les glaciers (Desor 1844, 1845). Dès le retour à Neuchâtel, la troupe qui compte maintenant dix personnes repart sans tarder pour les glaciers du Mont-Blanc. En chemin, elle s'arrête à Bex pour rendre visite à Charpentier. Les relations avec ce dernier sont encore bonnes puisqu'il guide la troupe sur quelques sites des environs immédiats de sa demeure et donne d'utiles informations pour la suite de la tournée. Le voyage à Vallorcine et retour, avec visite rapide à la Mer de Glace (Montenvers) et pour certains au glacier du Trient, est effectué au pas de charge. Il faut se hâter, car Agassiz tient à se rendre à la réunion de la Société géologique de France à Porrentruy où il se propose de présenter les premiers résultats de ses campagnes éclaircs.

Porrentruy et Bâle

Dans sa communication (Agassiz 1838b), dont la rédaction définitive a été assurée par Guyot (cf. Guyot 1883), Agassiz fait part de son intention de rester entièrement dans le domaine des faits. Il y parvient presque. En tous les cas, les grandes théories sont abandonnées et il se consacre avant tout à la présentation de la morphologie des glaciers actuels. Cette approche descriptive est destinée à mieux poser le problème fondamental des glaciers, celui de leur dynamique. Pour y parvenir, Agassiz, qui sur le plan de la biologie reste et restera toujours un défenseur du catastrophisme, aborde ici la question par une approche actualiste des plus classiques : une meilleure connaissance des phénomènes actuels doit permettre de mieux comprendre les phénomènes du passé.

Lors des excursions qui font suite à la réunion de Porrentruy, Agassiz a l'occasion de présenter aux congressistes les stries glaciaires qu'il a observées sur les bords du lac de Bienne. Malgré cette visite et son enthousiasme légendaire et communicatif, il ne parvient pas à entraîner l'adhésion de l'ensemble des savants présents. Les réactions ne sont cependant plus aussi vives qu'elles le furent à Neuchâtel. Plus d'un chercheur se déclare même convaincu par les arguments présentés alors que d'autres sont prêts à examiner, dans leur propre zone de recherche, ses propositions encore jugées révolutionnaires. Après Porrentruy, Agassiz, Buckland, Charpentier, Desor et Studer, qui étaient tous présents, se rendent à Bâle où, lors de l'assemblée de la SHSN, les discussions sur le phénomène glaciaire reprennent de plus belle. Là, Agassiz comme il le fera

jusqu'à son départ pour l'Amérique, de même que Charpentier défendent l'idée que la progression des glaciers est provoquée, lors des chutes nocturnes de température, par la congélation de l'eau infiltrée dans les microfissures de la glace. Cette théorie proposée d'abord par Scheuchzer a également été soutenue par Toussaint de Charpentier, le frère aîné de Jean. Pour beaucoup, elle est peu compatible avec les faits reconnus sur les glaciers et avec les données de la physique. Pour plus d'un chercheur, elle est l'un des arguments qui les engagent à maintenir leur opposition à la grande extension des glaciers.

Durant les années 1839 et 1840, une suite d'événements – le ralliement de Studer à la théorie glaciaire, la publication des *Etudes sur les glaciers*, la reconnaissance des glaciations en Grande-Bretagne – permettent à Agassiz de renforcer, autant sur le plan suisse que sur le plan international, sa position de grand champion de la théorie glaciaire.

Le ralliement de Studer

A la suite de la réunion de Neuchâtel, B. Studer, le patron de la géologie suisse de l'époque, publie une attaque assez vive contre les propositions émises par Agassiz (Studer 1838) (cf. Tableau, p. 232). Sur une Terre dominée par les évolutions climatiques graduelles, il ne peut admettre l'idée d'une chute catastrophique de la température. A ses yeux, la région de Berne, comme la haute vallée de l'Aar, présentent de nombreuses particularités morphologiques qui ne peuvent pas être expliquées par la théorie glaciaire. Les stries qu'on y rencontre et que Charpentier, comme Agassiz, évoquent avec insistance, s'expliquent parfaitement par la charge érosive de courants torrentiels ou de débâcles. Ces phénomènes restent la solution la plus satisfaisante pour expliquer le difficile problème de la dispersion de l'erratique. En 1839, après la réunion annuelle de la SHSN qui cette année-là se tient à Berne, Agassiz propose à Studer et d'autres compagnons de se rendre à Zermatt et sur les glaciers pour laisser parler les faits. Après deux journées consacrées à observer les stries, particulièrement celles des roches serpentines de la région du Rieffelhorn et celles situées sous les glaces du Gornergletscher, Studer reconnaît que ces traces d'érosion si typiques sont incontestablement produites par la friction du glacier. L'observation d'une semelle de glace chargée de galets et assurant le burinage de la roche paraît si importante chez Agassiz qu'on s'étonne qu'il n'en ait pas donné une illustration. Pourtant un dessin de cette situation a été retrouvée dans les papiers qu'il a laissés à Neuchâtel (Fig. 2) (Surdez 1973, VII., B., 35/319).

En poursuivant seul son voyage jusque dans la vallée d'Aoste, Studer est rapidement acquis à l'idée que, sur ce versant sud des Alpes, les anciens glaciers se sont également étendus jusqu'à la bordure de la plaine du Pô. Les stries observées en de nombreux endroits, et surtout les collines d'Ivrée interprétées comme des moraines frontales, en sont, pour lui, des preuves indiscutables. De retour en Suisse, sans tarder (comme il l'a promis), il fait paraître trois notes semblables, en français, allemand et anglais (Studer 1839a, b, c) (cf. Tableau,

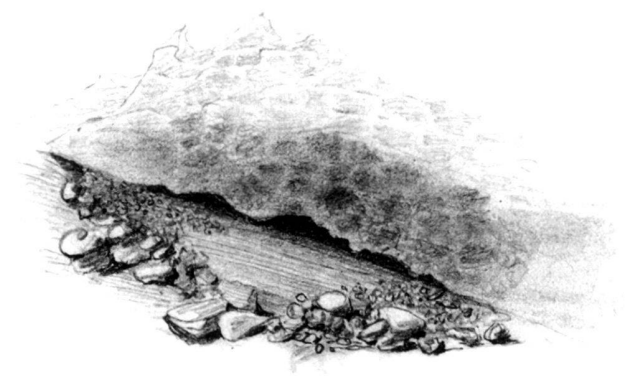


Fig. 2. Le contact entre le glacier et son plancher poli surmonté par un niveau sablo-graveleux à la base de la glace. Glacier de Zermatt? Croquis provenant des Archives Agassiz (Surdez 1973, VII., B., 35/319).

p. 232) qui annoncent sa conversion à la théorie glaciaire. L'adhésion de celui qui apparaît alors comme le meilleur connaisseur de la géologie alpine donne à celle-ci un appui incontestable. Agassiz, responsable de ce revirement, en est le grand bénéficiaire.

A Zermatt, après le départ du savant bernois pour l'Italie, l'examen du glacier du Gornergrat est repris plus en détail durant deux journées. C'est l'occasion pour Agassiz et son dessinateur Bettanier d'esquisser les panoramas régionaux et les particularités du glacier du Gorner qui illustrent les *Etudes*. En redescendant de Zermatt, tout au long de la Viège, Agassiz mesure régulièrement la température des eaux de la rivière afin de ne négliger aucun des paramètres qui pourraient permettre de mieux saisir l'ensemble du phénomène glaciaire.

La tournée se poursuit par une visite au glacier d'Aletsch, au lac de Märjelen et au glacier de Fiesch. Ces sites sont promptement reconnus, en une seule journée semble-t-il. Malgré cette hâte, les observations accompagnées de croquis appropriés y sont particulièrement impressionnantes. Au-delà, et toujours pressé, on se dirige vers le Grimsel, en jetant au passage un rapide regard au glacier du Rhône avec la suite de ses moraines frontales emboîtées et bien conservées. Le lendemain, une visite au glacier inférieur de l'Aar est riche de conséquences pour les travaux ultérieurs d'Agassiz. Au cours de cette course, l'abri de fortune que le savant soleurois Hügi avait construit dès 1827 est retrouvé sur la moraine médiane. Les documents laissés sur place montrent que le refuge s'est sensiblement déplacé depuis sa construction. Ces faits, déjà reconnus par Hügi, ont certainement été l'un des facteurs importants pour qu'Agassiz fasse de ce glacier le centre de ses futures recherches. Comme Hügi, il s'établira d'abord sur la moraine médiane afin d'être à pied d'œuvre pour ses prochaines investigations. La proximité relative de l'hospice du Grimsel (Fig. 3) offre en outre une excellente base arrière dans une région d'altitude relativement proche de Neuchâtel.

Dès son retour à Neuchâtel, Agassiz se lance avec entrain dans la rédaction de son premier grand ouvrage sur les glaciers. A cette date, depuis les excursions entreprises sous la conduite de Charpentier, il n'a en fait passé que 7 journées effectives sur les glaciers. Bien que sa production scientifique reste encore dominée par ses recherches paléontologiques (poissons et oursins), il juge qu'il a rassemblé assez de matériaux pour présenter au monde scientifique une nouvelle vision du phénomène glaciaire. Dès que l'ouvrage est envisagé, deux éditions simultanées, l'une française et l'autre allemande (Agassiz 1841a), sont mises sur pied. Pour assurer l'avancement de cette dernière et pour le secondier dans ses travaux scientifiques, Agassiz a fait appel, depuis peu, au jeune K. Vogt qui vient de terminer des études de médecine en Allemagne. Les *Etudes sur les Glaciers* (Agassiz 1840a), un beau volume de 346 pages, accompagné par 32 planches dont 14 imprimées sur papier semi-transparent, paraissent en septembre 1840, comme toujours au frais de l'auteur. L'ouvrage est dédié à MM. Venetz et de Charpentier: «Ce sont vos intéressans travaux qui m'ont inspiré le désir d'étudier les glaciers de nos Alpes: je vous dois en outre les premières directions qui m'ont mis à même de poursuivre ces recherches...». Dans cet ouvrage, comme dans plusieurs de ses œuvres antérieures, Agassiz donne ici la preuve de ses exceptionnelles capacités de synthèse. Utilisant avec maîtrise les travaux antérieurs, l'enseignement reçu par Charpentier et les résultats de ses rapides tournées dans les Alpes, il produit une œuvre qui à cette époque n'a pas sa pareille. Pour l'essentiel, elle est descriptive, et montre la grande force analytique de l'auteur vis-à-vis des données de terrain. Les développements visant la dynamique du phénomène glaciaire souffrent encore de sérieuses faiblesses, même si Agassiz se montre plus nuancé qu'il ne l'avait été dans le *Discours de Neuchâtel*. Il est conscient de ses lacunes en physique et en a fait part à Humboldt dans une lettre de novembre 1837, largement consacrée au phénomène erratique (Surdez 1973, II. 6/129): «j'éprouve un besoin si ardent d'apprendre quelque chose de physique pour oser aborder plus franchement les grandes questions géologiques que je dois nécessairement penser à votre ouvrage (Physique du Monde) comme à une ancre de salut. Les ouvrages de physique ordinaire ne s'élèvent pas au-dessus des petites expériences de laboratoire, du moins ceux que je connais et je n'y apprendis rien. J'ai pourtant lu tout récemment le rapport de Gauss sur le magnétisme terrestre; mais il ne tombe pas tous les jours de pareils livres entre les mains. Auriez-vous la bonté pour quelques conseils afin que je ne tâtonne pas trop longtemps».

A l'époque de la sortie de l'ouvrage d'Agassiz, le problème des glaciers est un sujet à la mode. En moins d'une année, pas moins de quatre auteurs publient d'importants travaux sur ce sujet: Godeffroy 1840, Agassiz 1840, Rendu 1841, Charpentier 1841. A ces contributions visant spécifiquement les glaciers, il est nécessaire d'ajouter les contributions de C.M. Engelhardt (1840) et L.-A. Necker (1841) qui, dans leur analyse des Alpes,



Fig. 3. Lithographie de l'Hospice du Grimsel, le camp de base des recherches sur le glacier de l'Aar, gravée pour Agassiz par H. Nicolet, mais non publiée à ce jour.

consacrent de nombreuses pages aux glaciers et leurs actions. La critique se fixe immédiatement sur la contribution d'Agassiz. Une part non négligeable de l'attention qui est donnée aux *Etudes sur les Glaciers* est directement associée à la personnalité rayonnante de l'auteur à laquelle s'ajoutent les qualités graphiques et artistiques des planches figurant dans l'Atlas. Ce climat est partiellement lié à l'émerveillement que l'on ressent encore aujourd'hui en contemplant ces belles lithographies. Charpentier pourtant ne manque pas d'en critiquer certains aspects jugés trop peu conformes aux paysages illustrés. Agassiz, ainsi qu'il l'exprime dans sa lettre à Charpentier du 28 juin 1841, se montre particulièrement blessé par ces remarques : «L'affection que je vous ai toujours conservée me fait regretter pour vous que vous vous soyez donné le tort de critiquer des bagatelles de mes planches....». Certains tirages, conservés à l'Institut de Géologie de Neuchâtel, montrent qu'Agassiz n'est pourtant pas satisfait lui-même de ces illustrations. Sur plus d'une planche, on peut lire les remarques ajoutées de sa main «lointain à refaire», «mauvais», ou «ce devant est très mauvais» (Fig. 4). Sur d'autres, c'est très probablement Agassiz qui a corrigé plus d'un contour, allant jusqu'à ajouter dans un cas une importante moraine, probablement oubliée ! Par crain-

te d'entraîner des frais supplémentaires, réflexe peu probable chez Agassiz, mais plus certainement pour ne pas retarder la parution, les tirages définitifs seront édités sans qu'il soit procédé à la moindre correction.

L'ouvrage se termine par un chapitre consacré aux «preuves de l'existence de grandes nappes de glace en dehors de l'enceinte des Alpes». Pour l'essentiel, Agassiz reprend les propositions du *Discours*. Impressionné par les stries décrites en Scandinavie et en Grande-Bretagne, il propose à nouveau que de vastes régions nordiques ont été couvertes par une très grande nappe de glace indépendante de celle des glaciers alpins. Alimentée par d'importantes précipitations en climat très froid, elle est stationnaire car elle ne se trouve pas sous l'influence de périodes alternées de gel et de dégel. Dans une publication ultérieure (Agassiz 1843, p. 21), il précise : «it follows that there could be no moving of ice-fields in any direction during that period; and I must lay great stress upon this point because it presents an essential difference betwixt my view and those of various other men of science, who likewise seek to explain the transport of erratic blocks by masses of ice, but in an anomalous manner. During the glacial period there was no motion; not a brook, not a rill furrowed the surface of the

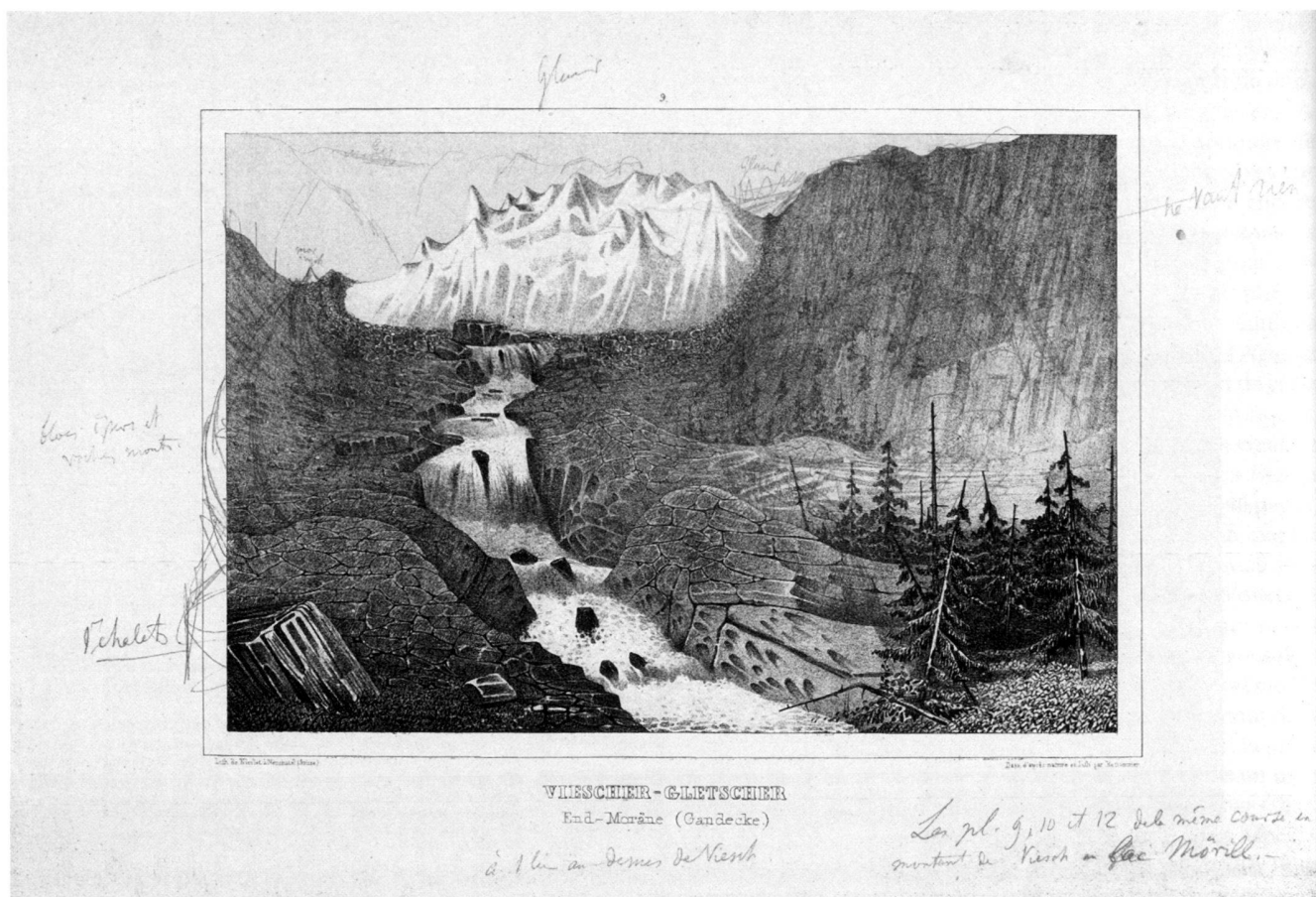


Fig.4. Corrections apportées par Agassiz sur l'épreuve de la planche 4 des *Etudes sur les glaciers*. Ici comme sur d'autres lithographies, Agassiz trop pressé de publier, renoncera à demander à ses lithographes de tenir compte de ses remarques pour établir un tirage final où se trouveraient figurées les anciennes moraines qu'il a observées de part et d'autre de la langue du glacier.

snowy covering, to remind by its purling that all life had not yet become torpid». Pour Agassiz, cette grande carapace de glace s'étend, en direction du Sud, des régions polaires jusqu'à la limite tracée par les blocs erratiques: Méditerranée, côtes atlantiques, Amérique du Nord, Sibérie (dans la version allemande, les glaces s'avancent même au-delà de la Méditerranée, jusqu'à l'Atlas). C'est lors du soulèvement des Alpes que d'énormes blocs de roches se détachent des crêtes et tombent sur cette nappe qui se trouve soulevée et disloquée. Sous l'effet du réchauffement de l'atmosphère induit par les «masses fluides de l'intérieur de la terre», on assiste à nouveau à la succession des saisons et à l'alternance de périodes de gel et de dégel. La dilatation des eaux qui s'infiltrèrent dans la glace conduit à leur mise en mouvement. Les blocs de roche sont alors transportés de façon passive dans la plaine suisse et jusque sur les pentes du Jura où ils se déposent. «Les moraines proprement dites ne commencèrent à se déposer que du moment que les glaces se furent retirées dans les vallées alpines.

....Les blocs erratiques, qui diffèrent si fort des moraines, dans leur disposition générale, ne sauraient donc en aucune manière être confondus avec ces dernières; puisqu'ils s'étaient déposés avant la formation des moraines, c'est-à-dire lorsque les glaces occupaient encore la plaine» (Agassiz 1840a, p. 317)

Les *Etudes sur les Glaciers* sont encore très marquées par les anciennes propositions de l'auteur (cf. Tableau, p. 232). Cependant on y reconnaît déjà l'influence des premières analyses de terrain, hélas encore bien sommaires. Pour ces raisons et par manque de recul, Agassiz ne parvient pas à proposer une image cohérente des relations ayant pu exister entre les glaciers alpins et les glaces de la plaine suisse. Sa pensée paraît toujours dominée par l'idée de la catastrophe qui aurait entraîné l'anéantissement de la vie sur la terre. Il favorise ainsi toutes les observations renforçant cette vision. Au niveau des faits, il est toujours de l'avis que les blocs erratiques du Jura sont trop anguleux pour être morainiques. Ils ne peuvent avoir été poussés par les glaciers sur une telle distance sans se faire

arrondir. A plus d'une reprise, il insiste sur les particularités de leur gisement: «les blocs erratiques du Jura reposent généralement sur une couche de galets et de cailloux, intermédiaire entre eux et la surface du sol, qui est habituellement polie et striée; que ces cailloux sont très arrondis et entassés de telle façon que les plus gros sont en haut, tandis que les plus petits, qui passent à un fin sable, occupent le fond et reposent immédiatement sur les surfaces polies. Cette disposition, qui est constante, s'oppose par conséquent à toute idée d'un charriage par les courans; car, dans ce dernier cas, l'ordre de superposition des cailloux serait inverse» (Agassiz 1840a, p. 287). Pour Agassiz, la permanence de cette couche graveleuse (cf. Fig. 2) portant les blocs erratiques est incontestablement le témoin d'un événement antérieur à la catastrophe climatique ayant conduit à la formation de la carapace de glace qui a recouvert toute l'Europe. Par son attachement à des idées que peu de faits soutiennent, il est conduit à nier la présence de moraines dans le Jura. Dans la région même de Neuchâtel, celles qui marquent le maximum de la dernière glaciation sont pourtant fort bien exprimées. Elles ne peuvent qu'attirer l'attention d'un chercheur pas trop pressé. Il n'est certes jamais aisé de se séparer d'idées que l'on a voulu imposer. Chez Agassiz, ainsi que Marcou le souligne, cette attitude est particulièrement prononcée et dans le cas présent, elle lui permet de souligner l'originalité de ses vues par rapport à celles de Charpentier.

Pour expliquer certaines particularités de la morphologie du pied du Jura et des dépôts erratiques qu'on y rencontre, Agassiz propose que la fusion des glaces ait été accompagnée d'une grande débâcle (Agassiz 1840a, p. 323): «la plus grande dépression de la molasse me paraît un effet de la débâcle des glaciers qui a du être considérable lorsque les masses de glaces qui remplissaient de grandes dépressions, comme par exemple nos lacs, sont venues à se soulever... l'ablation presque constante de la couche de sable et de gravier de dessous les blocs, qui au pied du Jura, jusqu'à un niveau d'environ 300 pieds au-dessus du lac, semble indiquer que le courant occasionné par cette débâcle, a généralement pu s'élever aussi haut; tandis qu'à 5 et 600 pieds au-dessus du lac, on retrouve déjà presque partout cette couche» (Agassiz 1840a, p. 323). Agassiz, qui a souvent insisté sur l'invraisemblance des grandes débâcles, propose ici un courant d'eau de plus de 100 m de profondeur s'étendant sur plusieurs km de large!

Pour Agassiz, comme pour Charpentier du reste, la formation des lapiez est le résultat de la circulation des eaux de fonte sur le plancher du glacier. Agissant par dissolution, elles provoquent dans les calcaires des Alpes comme dans ceux du Jura de denses réseaux de rigoles subparallèles. Ce contexte paraît si intimement associé aux phénomènes glaciaires qu'il peut être utilisé pour situer l'extension des anciens glaciers. Cette étrange interprétation n'a été contestée que tardivement (Escher von der Linth 1846).

La préface des *Etudes sur les Glaciers*, «A l'Hospice du Grimsel, le 20 août 1840», peut paraître un caprice de l'auteur heureux de souligner les conditions difficiles dans lesquelles il conduit sa recherche. Il est fort probable cependant qu'Agassiz

ait effectivement procédé à la dernière mise au point de son ouvrage au Grimsel. Cela lui permet de faire état des premières mesures de triangulations et de température à l'intérieur du glacier de l'Aar. Ces investigations, entreprises durant la très brève campagne de l'été 1840, ne précèdent que de quelques jours le départ d'Agassiz pour la Grande-Bretagne.

A cette date, Agassiz est certainement informé que Charpentier est sur le point de sortir son propre ouvrage sur l'erratique et les glaciers. Sa hâte de sortir les *Etudes* au plus vite n'est probablement pas étrangère à cette situation. Marcou, son ami presque inconditionnel, juge que dans sa précipitation de publier, Agassiz ne voulait en aucune façon porter préjudice, «ni même prendre le vent des voiles de ceux qui naviguaient à ses côtés». Il aurait tout de même dû montrer plus de considération envers celui qui l'avait initié aux réalités des phénomènes glaciaires. Bien qu'il ait dédié son ouvrage à Venetz et Charpentier, il n'y mentionne jamais, pas plus qu'il ne l'avait fait dans le *Discours*, l'importance de l'information reçue lors des visites de terrain effectuées en compagnie de Charpentier. Le géologue E. Renoir, qui s'est illustré dans la mise en évidence de l'erratique des Vosges, nous offre, à la même époque et dans des circonstances très semblables, une façon bien différente de se comporter. Comme Agassiz, il a été d'abord fermement opposé à la théorie glaciaire. La conférence donnée par Agassiz à Porrentruy et la visite qu'il effectue ensuite à Bex chez Charpentier transforment sa façon de voir. Il exprime sa dette envers ce dernier avec chaleur et franchise: «Je dois à ce savant distingué (de Charpentier), les renseignements les plus précieux. J'ai eu l'avantage de parcourir avec lui quelques-unes des moraines latérales qui reposent sur les environs de la saline des Devans; elles sont si bien reconnaissables et plusieurs parties en sont bien conservées... J'ai aussi visité, sur l'indication de M. de Charpentier, les beaux et nombreux blocs erratiques qui dominent au N.-O. le bourg de Monthey. Ces blocs, dont plusieurs cubent jusqu'à 1'300 et 1'400 mètres, ont été pour moi, dans l'objet de mes recherches, comme un trait de lumière, car jamais de semblables blocs n'ont pu être transportés à la hauteur où ils se trouvent par un courant, quelque furieux, quelque gigantesque qu'on veuille le supposer» (Renoir 1841).

Visite en Grande-Bretagne

En 1834, lors de son premier voyage en Grande-Bretagne, Agassiz entre en contact avec plusieurs savants, dont Lyell et Buckland, qui lui permettent de s'imposer rapidement dans le monde scientifique britannique comme un jeune naturaliste de toute première force. Cette appréciation est confirmée en 1834 lorsque Agassiz est honoré par la Société géologique de Londres de la médaille Wollaston et que l'Association Britannique pour l'Avancement des Sciences met à sa disposition une somme importante pour faciliter l'avancement de ses recherches sur les poissons fossiles. C'est dans ce dessein qu'il entreprend un troisième voyage en Grande-Bretagne. Mais à cette occasion, il désire par-dessus tout s'enquérir de l'existen-

ce probable d'anciens glaciers dans le Nord des Îles britanniques. Pour préparer le public local au raisonnement qu'il se propose d'utiliser, il a adressé à la Société géologique de Londres une note sur les roches polies observées dans les Alpes et qui sont produites par l'action des glaciers (Agassiz 1840b). Avant toute étude sur place, il juge que celles qui ont été décrites par plusieurs savants dans le Nord pourraient bien être d'origine glaciaire : «En Angleterre, les roches polies ont été observées dans différentes localités. Déjà Sir James Hall les avait signalées dans les environs d'Edimbourg. Plus tard MM. Sedgwick et Buckland les ont remarquées dans les comtés de Westmorland et de Cumberland. M. de Verneuil qui a visité plusieurs de ces localités, m'en a rapporté un fragment de calcaire magnésien, détaché de la surface du sol et qui présente exactement la même apparence que les roches polies du Landeron» (Agassiz 1840a, p. 304-05). En dehors de l'information de Verneuil, c'est certainement Buckland qui a renseigné Agassiz sur ces faits. Lui aussi d'abord totalement opposé aux idées présentées dans le *Discours*, en est devenu un ardent défenseur à la suite d'une visite effectuée en Suisse, souvent guidée par Agassiz lui-même. A Edimbourg, Agassiz dispose également, ainsi qu'on l'a signalé, du soutien de Robert Jameson, le rédacteur du *The Edinburgh Philosophical Journal*.

La visite d'Agassiz en Ecosse, Irlande puis Angleterre de 1840 est particulièrement bien documentée (Herries Davies 1968, White 1970, Hallam 1989, Cunningham 1990, Boylan 1998). Elle se termine le 4 novembre à Londres par la présentation à la Société géologique d'une communication où Agassiz annonce que d'anciens glaciers ont occupé de larges surfaces dans le Nord des Îles britanniques (Agassiz 1840c). Ces propositions sont basées sur l'observation plusieurs fois répétée de blocs erratiques, graviers, roches polies et stries, faites en compagnie de Buckland surtout. Elles ne peuvent pas être rapportées à l'action de courants, mais sont le résultat d'actions glaciaires comparables à celles qui sont reconnues dans les vallées alpines de la Suisse. Dans le N de l'Ecosse, la région de Ben Nevis paraît être le centre de dispersion de la glace alors que plus au S ce sont les Grampians qui assurent cette fonction. Les routes parallèles de Glen-Roy, interprétées par Darwin comme des plages marines soulevées, sont les marques d'une suite de niveaux atteints par un lac de barrage créé par les glaciers descendant du Ben Nevis. Une note (Agassiz 1842), largement consacrée aux recherches sur le glacier de l'Aar, signale également les résultats de la tournée dans les Îles Britanniques. Agassiz reconnaît enfin que la nappe de glace du nord de l'Europe ne descendait pas en direction du sud au-delà du 50^{ème} parallèle. Il y souligne très bien la différence existant entre les glaciers alpins et les grandes calottes de glace qui recouvrent l'ensemble du paysage. Celles-ci ne portent pas de blocs erratiques à leur surface contrairement aux premiers qui en sont alimentés par les sommets élevés environnants. La reconnaissance du phénomène glaciaire dans les Îles Britanniques peut être considérée comme l'une des plus belles contributions d'Agassiz. Elle est originale, s'appuie sur des faits précis reconnus dans un minimum de temps.

Dans la capitale britannique, au cours de deux séances ultérieures à la Société géologique de Londres, Buckland (1841) et Lyell (1841) présentent leurs observations de détail confirmant qu'une carapace de glace de type continental a recouvert l'Ecosse. Les réactions britanniques à ces propositions (Boylan 1998) sont alors tout aussi vives que celles qui s'étaient fait entendre à Neuchâtel après le *Discours*. La majorité des auditeurs présents, et tout particulièrement Murchison, s'y montre franchement hostile. De plus, dès 1841 déjà, Lyell retire son soutien à l'idée de grandes glaciations. Il n'est donc pas étonnant de constater qu'après le départ d'Agassiz, la théorie glaciaire éprouve de grandes difficultés pour s'imposer en Grande-Bretagne. Seul Buckland parmi l'élite des géologues en reste un ardent défenseur. Il l'exprime avec vigueur dans son allocution présidentielle (Buckland 1842, p. 504) «During the last year M. Agassiz has introduced a new and powerful machinery into the Dynamics of Geology, by asserting the claims of ice to be admitted to the list of locomotive forces that have operated largely not only in forming *morains*on the flanks and at the lower extremity of existing glaciers, but also transporting erratic blocks with the detritus of morains to distant regions, and re-arranging them by force of floods that originated in the melting of ice and snow».

Emporté par son enthousiasme habituel ainsi que par le ralliement de Lyell, qu'il croit définitif, Agassiz revient de sa tournée britannique en vainqueur et écrit à Humboldt: «J'ai accumulé tant de preuves que personne en Angleterre doute maintenant que les glaciers n'y aient existé, et que ceux là qui en ont le plus vu ont été convaincus les premiers : Sabine, Sir George Mackenzie. Je n'ai trouvé d'opposition que contre l'extension que je leur attribue, encore cette opposition ne s'appuie-t-elle déjà plus que sur l'in vraisemblance, quelques-uns disent l'impossibilité physique d'un refroidissement temporaire assez considérable pour avoir couvert l'Europe d'une calotte de glace» (Marcou 1896, p. 170-71).

Essai sur les Glaciers

L'ouvrage de Charpentier: *Essai sur les Glaciers et sur le Terrain erratique du Bassin du Rhône* paraît à Lausanne au printemps 1841 (Charpentier 1841). Dans la préface, l'auteur précise que les *Etudes sur les Glaciers* d'Agassiz lui sont parvenues le 28 octobre 1840, alors qu'il effectuait la dernière mise au point de son propre manuscrit. De ce fait, son texte ne peut faire appel à cette dernière publication et ne s'appuie en conséquence que sur des travaux antérieurs, tout particulièrement sur le *Discours*. Cependant, dans de nombreuses notes infra-paginales, Charpentier introduit des commentaires tantôt approuvants, tantôt critiques du texte ou de l'illustration des *Etudes sur les Glaciers*. Des notes d'Agassiz manuscrites et confidentielles destinées à Vogt, (Surdez 1973, VII. B. 35/2.1) permettent de saisir l'irritation et la tension que lui procure la lecture de l'œuvre de son collègue. Son amour-propre est profondément blessé par un ouvrage qui, à ses yeux, déforme systématiquement sa vision du problème glaciaire en ne s'ap-

puyant que sur d'anciennes prises de position qu'il ne défend plus actuellement. De plus, il ne peut admettre que Charpentier ignore sa contribution majeure, celle qui place les faits glaciaires dans le contexte des phénomènes fondamentaux de l'histoire de la Terre. Voici un choix opéré dans ces remarques:

«N'est-il pas étrange que dès la page 10 de son ouvrage imprimé en 1841 M. de Charpentier donne des extraits de mon étude sur les glaciers qu'il avait en mains dès le mois 8 (1840) et que lorsqu'il s'agit de ma théorie (*illisible*), il ne cite qu'un discours de circonstance sur ce sujet que j'ai fait imprimer en 1837 et qu'il ne fasse aucune mention des modifications considérables que j'ai apportées dans l'énoncé de ces idées, après trois années d'études suivies sur cette question. Je saurais encore moins m'expliquer pourquoi il dit explicitement dans sa préface que quant au mode de transport des blocs erratiques je professe toujours l'opinion que j'ai développée dans mon discours¹; tandis que c'est la partie de mes recherches à laquelle j'ai donné les développements les plus nouveaux dans mes Études, serait-ce peut-être pour faire meilleur marché des objections que j'ai avancées contre ce point de sa théorie, qui est celui où nous différons le plus?»

«Ce n'est point ainsi que j'ai agi à son égard. Partout où j'ai eu à citer des faits que j'avais vus avec M. de Charpentier je les lui ai attribués en plein, alors même qu'il ne les avait point publiés lorsque j'ai commencé la rédaction de mon livre. M. de Charpentier que j'ai vu à plusieurs reprises dès 1837 connaissait également mes idées sur ce sujet avant d'écrire le sien et s'il tenait à les réfuter ce n'est pas mon discours de quelques pages imprimé en 1837 qu'il aurait dû consulter pour cela; il avait d'ailleurs également à sa disposition les observations que j'ai communiquées à la société géologique de Porrentruy en 1838 et qui sont consignées dans le bulletin de 1839; il connaissait également la relation qu'a faite Mr. Desor de notre course au Mt Rose insérée dans la Bibl. univ. de Genève de 1840 et où sont consignés une foule de faits nouveaux. D'ailleurs mon ouvrage (*illisible*). En revanche il cite une ode de M. Schimper, rédigée par ce dernier à Neuchâtel, à l'époque où j'y faisais un cours spécial sur les glaciers, comme pour me rendre solidaire de toutes les exagérations».

«En se battant contre quelques idées énoncées dans mon discours, M. de Ch. ne s'est pas aperçu qu'il se battait contre des moulins à vents, puisque longtemps avant ses attaques, j'avais abandonné dans mes études tout ce qu'il pouvait y avoir d'insoutenable dans l'énoncé de mes idées. Que dirait M. de Ch. si je venais encore maintenant l'attaquer sur les idées relatives à la plus grande élévation des Alpes qu'il a abandonnées. Et après tout où mènent ces théories?».

«M. de Charpentier se plaît à dénaturer tout ce que j'ai dit dans mon discours sur l'origine de la nappe de glace, et sur son mouvement.

Les glaces qui ont couvert la Suède, l'Europe, les Vosges, les Pyrénées seraient-elles peut-être des ramifications du glacier-type du Rhône de Mr. de Charpentier».

«M. de Charp. dans ses conceptions ne va pas au-delà de l'idée des chasseurs de chamois qu'il a entendus l'énoncer pour la première fois. Il n'a point conçu cet ensemble de phénomènes comme une époque géologique».

On le voit, Agassiz oublie le peu de cas qu'il a fait des résultats que lui a communiqués Charpentier mais ne peut admettre que son collègue ne fasse pas mention de ses observations publiées ou de celles qui sont effectuées par des membres de son équipe.

Agassiz n'est cependant pas systématiquement négatif face à l'ouvrage de Charpentier. Il juge que sa description de l'erratique est bonne, que celle des moraines, bien qu'incomplète, est accompagnée de très bonnes illustrations.

Dans ses notes souvent hâtives, on rencontre cette étrange remarque en rapport avec la théorie du transport de l'erratique par les icebergs: «Il abîme très bien Darwin».

Cette allusion, la seule se rapportant à un autre auteur que Charpentier, suggère qu'à cette époque déjà, Agassiz n'éprouve que peu de sympathie pour son collègue anglais!

Sur les mêmes feuillets, quelques lignes finales, dont certaines étaient peut-être destinées à une publication, témoignent d'un regard plus ouvert:

«L'ouvrage de M. de Charpentier est une précieuse acquisition pour la science.

Avec les observations de M. le Ch. Rendu et les miennes, il présente la somme de ce que l'on sait de positif. Ce n'est encore qu'un point de débat dans les études d'un sujet très compliqué et dont les bases sont à peine reconnues.

Nous différons en effet encore sur des points essentiels, M. de Charp. ne veut que des glaciers locaux, quant à moi j'admets un refroidissement général, une croûte de glace occupant la majeure partie de la surface du globe et qui s'est successivement retirée dans les limites des glaciers actuels. L'avenir nous dira laquelle de ces 2 théories est fondée ou si elles sont erronées toutes deux. Mr. de Ch. n'a pas plus vu son grand glacier que je n'ai vu mes nappes de glace. Ce qu'il importe surtout de faire ressortir maintenant c'est l'état des faits. Or il en est dans l'ouvrage de M. de Charpentier qui sont mieux exposés que dans mes études aussi je n'en ai ...». (La suite ne nous est pas parvenue).

Les deux volumes, celui d'Agassiz et celui de Charpentier, bien que traitant le même sujet, offrent par leur structure et la pondération relative des objets, un éclairage suffisamment différent pour qu'ils puissent prétendre à une certaine complémentarité. Chez Agassiz, la description même des glaciers actuels forme le cœur de l'œuvre. Ces données permettent à l'auteur d'aborder dans ses conclusions les problèmes généraux que sont: l'ancienne extension des glaciers alpins, les nappes de glaces extra alpines et finalement l'évolution climatique de

¹ Les citations soulignées sont d'Agassiz

la Terre. Chez Charpentier, on reste en permanence dans le concret. Une description soigneuse des glaciers actuels, mais tout de même plus modeste que celle d'Agassiz, sert d'introduction à la partie centrale de l'ouvrage consacrée aux terrains erratiques, principalement ceux du Bassin du Rhône. Malgré ces différences, Agassiz juge que le volume de Charpentier jette une ombre sur sa propre production (cf. Marcou 1896, p. 254). Pour sa part, Charpentier ne peut admettre les critiques qu'on lui fait et la hâte apportée par Agassiz pour que son ouvrage sorte avant sa propre production. Les bons rapports qui avaient existé entre les deux savants ne peuvent subsister plus longtemps. Agassiz apparaît être le principal responsable de cette dégradation. C'est pourtant lui qui adresse le 28 juin 1841 une lettre à Charpentier. Sur un ton accusateur et froid, il y fait part des réactions défavorables ressenties à la lecture du livre de son collègue:

«Après beaucoup de démarches inutiles j'ai enfin pu me procurer votre ouvrage sur les glaciers etc. Je l'ai lu avec avidité et y ai trouvé beaucoup de faits d'un grand intérêt. Je suis convaincu de nouveau que nous avons tous encore beaucoup à apprendre sur ce sujet. Je regrette une seule chose : c'est que vous avez si peu mis à profit mes observations, vous auriez pu par là compléter plusieurs points de votre travail et nous donner le mérite de fonder tout ce que l'on sait maintenant de positif sur la question des glaciers, d'harmoniser les dénominations divergentes que vous avez employées, d'établir la synonymie des vôtres avec les miennes etc. etc. Puisque vous n'y avez pas songé je m'en chargerai et malgré le mauvais vouloir que vous avez mis partout en me citant, vous n'aurez pas trop à vous plaindre de moi, car je tiens avant tout au progrès de la science, sans exception de personnes. J'ai d'ailleurs une masse d'observations nouvelles à publier, recueillies dans les montagnes des îles Britanniques l'automne dernier et au commencement du mois de Mars de cette année sur le glacier de l'Aar que j'ai parcouru jusqu'à l'Abschwung.»

«L'affection que je vous ai toujours conservée me fait regretter pour vous que vous vous soyez donné le tort de critiquer des bagatelles de mes planches et de mon livre, sans citer aucun fait instructif, excepté la température des glaciers. Cette réserve est tellement frappante que déjà deux de mes amis m'en ont exprimé leur étonnement. Mais cela s'oubliera j'espère.»

«Au revoir à Zurich si vous y allez; si non j'espère sur votre territoire un peu plus tard. Mes respects à Mademoiselle de Charpentier.» (Surdez 1973, doc. 6. 8, 1257).

Même si Agassiz conserve encore un peu d'estime pour celui qui l'a formé, il n'en juge pas moins que celui-ci devrait montrer plus de considération au savant dont l'autorité s'est imposée au niveau de la recherche sur les glaciers. Agassiz adressera encore une lettre à Charpentier le 28 janvier 1842 mais son contenu n'a pas été conservé.

Charpentier est à Zurich en 1841, puis à Berne en 1845 lors des réunions de la Société helvétique des Sciences. Dans cette localité il présente une communication pour montrer l'impossibilité du transport de l'erratique par de grosses débâcles

(Charpentier 1846). Pour sa part, durant ces années Agassiz, avec toute son équipe, redouble d'activité au glacier de l'Aar. Les résultats feront l'objet du *Système glaciaire* précédé par une abondante suite de notes dans lesquelles il attaque sèchement Charpentier chaque fois que l'occasion se présente. Pour Agassiz, tous ces écrits sont amplement justifiés et ils ne font pas partie de l'engorgement critique. «La litt. (littérature scientifique) s'est dissoute en une nuée de pamphlets éphémères qui ne produisent qu'un effet momentané et qui inondent le public comme un torrent boueux» (Surdez 1973, doc. 31/ 2 6b).

L'*Essai sur les glaciers* de Charpentier n'a pas connu le retentissement des *Etudes sur les glaciers*. Comme Marcou le remarque, en étant édité à Lausanne et non pas dans un grand centre comme Paris, sa diffusion a été quelque peu défavorisée. Mais à ce niveau, la différence dans l'accueil vient d'abord du prestige différent dont jouissaient alors les deux auteurs. On doit aussi prendre en considération qu'Agassiz savait parfaitement organiser ses campagnes publicitaires pour toucher les milieux influents de la science internationale. Ainsi en arrivant sur le marché en seconde position, Charpentier s'est de plus trouvé fortement désavantagé. J. Macaire (1842) débute sa revue de l'ouvrage par: «En science, comme à table, «Tarde venientibus ossa» il importe à l'homme scientifique de ne pas se faire devancer dans la publication de ses recherches ou de ses découvertes». Ainsi, malgré la profonde connaissance du phénomène glaciaire et la parfaite conduite de son sujet, l'ouvrage de Charpentier n'est pas parvenu à concurrencer celui plus sensationnel d'Agassiz. Seuls quelques spécialistes en ont reconnu toute la valeur.

Après la publication des *Etudes*, Agassiz met toute son énergie dans l'examen des glaciers actuels et de leur transformation. Il délaisse par contre leurs anciennes extensions, les grandes crises climatiques et leurs conséquences sur les faunes. Les glaciers actuels lui paraissent être un sujet si complexe et encore si mal connu qu'ils demandent à être étudiés avec une détermination qui ne peut souffrir aucune dispersion. Une attention toute particulière continue d'être accordée aux stries glaciaires (Fig. 2 et 5) qui sont si précieuses dans l'étude du glaciaire de Grande-Bretagne et qui permettent une excellente appréciation de l'altitude atteinte par les glaciers (Desor 1841). Le travail d'équipe nécessaire à toutes ces tâches doit être abordé avec l'assistance de chercheurs formés dans toutes les disciplines scientifiques. C'est sur cette base qu'Agassiz organise, jusqu'à son départ pour les USA, la suite des expéditions au glacier de l'Aar. La noix à croquer se révèle même plus dure qu'il n'y paraissait. Même si ces recherches conduiront à des progrès substantiels (principalement au niveau des mesures de l'ablation et du déplacement des différentes parties du glacier) c'est surtout l'élan créé par ce mouvement qui va modifier la perception du phénomène glaciaire. De façon parallèle d'abord, puis de façon indépendante par la suite, plusieurs explorateurs et équipes s'engagent sur ces traces. Presque toujours et partout, les résultats conduisent ces chercheurs à accepter l'idée de la grande extension des glaciers anciens dont le développement est la conséquence d'un impor-

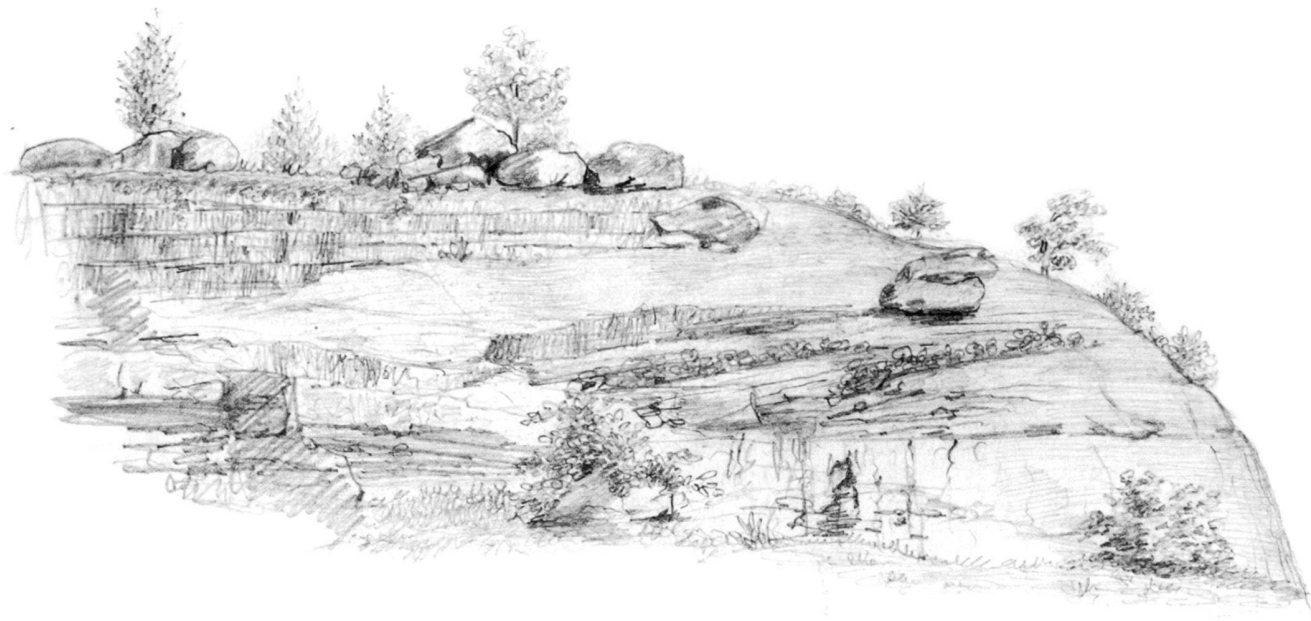


Fig. 5. Sur le chemin du Grimsel. Blocs erratiques reposant sur des roches polies (calcaire) dans la région de Meringen. Croquis provenant des Archives Agassiz (Surdez 1973, VII., B., 35/319).

tant refroidissement climatique de la Terre. Dans cet élan, Agassiz se montre un publiciste de première force pour entretenir dans sa troupe et au-delà la flamme nécessaire pour assurer la poursuite de la recherche et son financement. Les conférences et les publications destinées au monde savant ainsi qu'à la population en général se succèdent à un rythme soutenu. A. Boué (1843) ne peut s'empêcher de commenter: «*La Théorie glaciaire de M. Agassiz fait tant de fracas, les gazettes même ont la bonté de nous tenir au courant, soit de la dispute ridicule de priorité élevée par M. Schimper, soit des événements de l'hôtel des Neuchâtelois, sur le glacier de l'Aar, que le commun des mortels doit, ou sourire, ou penser qu'il s'agit de quelque découverte de premier ordre*». Desor avec ses *Excursions et Séjours dans les Glaciers* (Desor 1844 et 1845) a pour tâche d'étendre encore l'écho de cette entreprise et il y parvient magnifiquement. Son récit vivant permet à un large public avide des paysages alpins de suivre la vie de cette aventure scientifique, les succès et les peines de cette troupe dont l'ardeur est jugée digne de soutien.

Relations avec Forbes (cf. Cunningham 1990)

Durant l'été 1841, Agassiz et sa troupe poursuivent leurs investigations au glacier de l'Aar à partir de l'Hôtel des Neuchâtelois. Cette fois, le séjour dans les Alpes est conséquent, il s'étale sur un peu plus d'un mois; c'est alors que se développe l'affaire Forbes. L'année précédente, Agassiz a rencontré ce

jeune et talentueux physicien au cours de sa visite en Ecosse (Shairp et al. 1873). Fils cadet d'une famille aisée, il s'est attiré très tôt l'attention des milieux scientifiques de Grande-Bretagne et du continent et a été nommé professeur à l'Université d'Edimbourg (Professor of Natural Philosophy) à l'âge de 22 ans déjà. Ses recherches sont avant tout orientées vers la physique, notamment la conduction de la chaleur. Fervent voyageur, il est également très intéressé par la géologie et entretient des contacts suivis avec plus d'un géologue célèbre de son temps (Buckland, von Buch, Elie de Beaumont, etc.). Ayant déjà parcouru les Pyrénées et les Alpes, il a été très jeune impressionné par les glaciers dont ceux de la Mer de Glace, mais sans songer à les étudier. Informé de ce contexte, Agassiz lui propose de se joindre à sa prochaine campagne. C'est ainsi que durant plus de trois semaines de l'année 1841, Forbes après avoir passé quelques temps dans le Dauphiné (Mont Pelvoux) partagera la compagnie de ceux qui explorent alors, sous la direction d'Agassiz, le glacier de l'Aar.

D'après ses dires, lors de la première journée, il attire l'attention d'Agassiz sur les bandes de glaces très redressées, alternativement bleues et blanches qui lardent le glacier (Forbes 1842d). Agassiz, surpris, conteste d'abord l'observation mais est finalement conduit à en reconnaître le bien-fondé. Au cours des jours suivants et durant toute la durée du séjour de Forbes sur le glacier de l'Aar, ses rapports avec le groupe des Neuchâtelois sont relativement tendus. Alors qu'on espérait bénéficier des commentaires avertis du physicien, celui-ci se

contente de réponses vagues ou ne fait que souligner les difficultés de trouver des explications simples aux problèmes qu'on lui présente. Après avoir quitté le glacier de l'Aar, Forbes se rend au glacier d'Aletsch, dans la vallée de Saas, à Zermatt, à Bex où il n'a pas le plaisir de rencontrer Charpentier qui est absent. Au-delà d'un court passage à Genève, il rejoint ses anciens compagnons à Neuchâtel. Au cours des journées suivantes, il est conduit sur les meilleurs sites de la région où s'observent stries glaciaires et les blocs erratiques. On s'efforce encore une fois d'obtenir quelques commentaires sur l'ensemble des phénomènes glaciaires qu'il a eu récemment l'occasion d'observer, mais c'est peine perdue. Il finit tout au plus par admettre que les stries et l'erratique des environs de Neuchâtel ont bien une origine glaciaire, ce dont il doutait encore il y a peu (Cunningham 1990). Agassiz et ses compagnons sont maintenant persuadés que la réserve de Forbes ne s'explique que par son intention de publier rapidement et de façon indépendante ses idées et observations sur les glaciers. Pour éviter d'être pris de court, dans les jours qui suivent son départ, Agassiz entreprend deux démarches. Le 27 septembre déjà, il propose à John Murray fils, éditeur du *Quarterly Review* un article sur les glaciers. Le 3 octobre, il adresse une lettre à Humboldt qui se trouve à Paris, le priant d'en communiquer le contenu à l'Académie avec les résultats de ses dernières recherches effectuées au glacier de l'Aar (Agassiz 1841b). Il y déclare: «Le fait le plus nouveau que j'ai remarqué, c'est la présence dans la masse de la glace de rubans verticaux de glace bleue, alternant avec des bandes blanches d'un quart de ligne à plusieurs pouces de large, s'étendant sur toute la longueur du glacier». Forbes pour sa part arrive à Londres le 4 octobre. Sans perdre de temps, dès qu'il se trouve en Ecosse, le 11 octobre, il propose à son tour à Murray un article critique où seraient examinées les différentes théories du phénomène glaciaire.

Dès que Forbes prend connaissance de la note de l'Académie, publiée le 18 octobre déjà, il juge qu'elle le prive d'une découverte importante touchant la dynamique glaciaire. Sans tarder, le 6 décembre, il présente à son tour une communication à la Royal Society of Edinburgh sur la structure interne des glaciers; elle est rapidement publiée (Forbes, 1842c). Il y souligne que les structures observées sont distinctes de la stratification, qu'elles sont très redressées, essentiellement parallèles à l'allongement du glacier sauf dans sa partie terminale où elles sont transversales et fortement couchées. Il propose qu'elles se forment perpendiculairement aux pressions principales, de façon comparable à la schistosité dans les roches. Dans un autre article (Forbes 1842d), il s'étend sur les circonstances de sa découverte en soulignant les difficultés qu'il a rencontrées pour convaincre Agassiz des évidences du terrain.

La chronologie ci-dessus est établie sur des données précises mais dans deux cas elle a dû s'appuyer sur les seules dates d'expédition de lettres d'Agassiz dont nous ignorons le contenu (lettre à Murray du 27 septembre 1841, lettre à Humboldt du 3 octobre). Elle montre cependant que dès le départ de l'affaire Forbes-Agassiz, les responsabilités de ces deux ambitieux

chercheurs sont engagées. Elles résultent du fait que tous deux placent leur gloire personnelle bien avant la science et certaines convenances que l'amitié et l'hospitalité imposent.

Par la suite, par le biais de publications largement distribuées, les deux protagonistes cherchent à justifier leur comportement en prenant à témoin amis et collaborateurs. Dans cette triste confrontation, où la science n'a que peu de place, Agassiz prétend, contrairement à l'introduction de sa lettre à Humboldt, qu'il avait connaissance des bandes de glace bleue et leur disposition structurale bien avant la visite de Forbes. Pour preuves, il les avait même mentionnées lors de l'assemblée de la SHSN à Bâle en 1838. Guyot les avait même observées antérieurement ainsi qu'en témoigne le texte de sa communication de Porrentruy en 1838, malheureusement non publiée, mais qui a été déposée à la Société des Sciences naturelles de Neuchâtel. Bien qu'il soit difficile de connaître tous les éléments de cette affaire, Agassiz n'en sort pas grandi. C'est lui qui, en s'attribuant la découverte de la structure interne des glaciers, apparaît être le grand coupable (Cunningham 1990, p. 93-109). C'est lui aussi qui à plus d'une reprise refusera toute idée de conciliation, même celles que lui propose Forbes lorsqu'il s'arrête spécialement à cet effet à Neuchâtel en 1842. Dans ces temps de confrontation, Agassiz montre plus que jamais son emprise sur son entourage. Il sollicite leur témoignage dans une affaire qui ne les concerne que peu et dont ils n'ont pas été les témoins directs. Guyot sera le seul dont il n'obtiendra presque rien; celui-ci attendra même la fin de sa vie, la disparition d'Agassiz pour publier le document sur lequel Agassiz appuie une partie de sa défense (Guyot 1883).

Dès le moment où Agassiz a eu connaissance de l'intérêt que Forbes avait pour les glaciers, il a tout fait pour incorporer ce physicien réputé à son équipe, afin de la rendre plus performante dans un domaine où il connaissait ses limites. Il s'attendait à ce que ce nouveau collaborateur s'incorpore dans son groupe comme tous ses autres compagnons l'avaient fait par le passé. Comme eux, il aurait dû faire part de ses observations et commentaires afin que l'équipe et son chef surtout puissent en tirer profit. Les publications n'auraient pas manqué de citer l'importance de sa contribution et de souligner ses mérites. En lieu et place d'un nouveau collaborateur, compétent et docile, c'est une sorte de parasite, ou pire encore un concurrent, qui cherche à s'installer dans le nid. Aux yeux des neuchâtelois, durant trois semaines, Forbes ne fait que profiter de l'hospitalité et des facilités qu'Agassiz met à sa disposition. Il ne cherche qu'à s'instruire sur le phénomène glaciaire et sur la façon dont l'équipe neuchâteloise l'aborde. Aux déclarations intuitives qui ont la faveur, il oppose une approche plus rigoureuse, plus physique des phénomènes. On craint qu'il ne le fasse savoir par ses propres publications.

Sur le moment, les attaques sans ménagement échangées entre les deux protagonistes ont certainement perturbé plus d'une conscience. Assez rapidement pourtant, les ombres fâcheuses qui, pour un temps, marquent l'image rayonnante du grand savant neuchâtelois s'estompent. Elles seront même assez rapidement oubliées par beaucoup comme le seront

celles qui, à plus d'une reprise, toucheront Agassiz lorsque aux USA, il publie, sous son seul nom, les contributions scientifiques de ses proches collaborateurs (Lurie 1969).

Peu après son retour en Ecosse et donc avant que la brouille avec Agassiz atteigne son point de non-retour, Forbes, en s'inspirant des connaissances acquises, s'efforce de trouver un éditeur pour présenter une analyse des travaux récents consacrés au problème glaciaire: Venetz, Agassiz, Rendu, Charpentier et Necker. On a vu que cet article avait d'abord été offert à Murray. Celui-ci l'avait repoussée du fait qu'il disposait d'une proposition comparable d'Agassiz. Cette remarquable analyse des connaissances de l'époque (Forbes 1842a et b) fut finalement éditée, sans trop de délais dans le *Edinburgh Review*. Traduite en français (Forbes 1842b), elle paraît pourtant rarement citée par les commentateurs francophones. Cette contribution est cependant incomparable pour situer l'état de la recherche à cette époque, tout particulièrement au niveau de la dynamique glaciaire. L'auteur souligne d'abord les grands mérites de Venetz et son rôle de pionnier. Il juge que l'article de Charpentier (1835b) contient en fait «tous les arguments qui depuis ont servi à défendre la théorie des glaciers», et que son remarquable *Essai sur les glaciers* «se distingue par la simplicité, la méthode et la clarté du style». Lorsque Forbes aborde les contributions d'Agassiz, il se montre plus critique. Ainsi il juge que dans le *Discours de Neuchâtel*, «l'hypothèse (celle du glissement des blocs sur la surface de glace basculée depuis les Alpes en formation) semble être plutôt un pas en arrière dans la marche d'une théorie véritable; car les principes de la géologie et de la mécanique fournissent également des arguments pour la réfuter». Il ne manque pas de souligner la remarquable qualité de l'illustration des *Etudes* mais en critique l'exploitation: «Elles servent à présenter, en peu de temps, aux yeux d'une personne entièrement étrangère à cette question, une idée suffisamment exacte des faits à expliquer et des principales preuves de la théorie. Un bon commentaire sur les figures aurait peut-être répandu plus de conviction que le volume actuel, qui semble avoir été écrit à peu près sans égard à l'atlas qui l'accompagne, et auquel il ne renvoie que rarement». D'autres remarques s'en prennent vertement au texte: «les arguments se suivent si mal qu'il nous est difficile de croire que ce soit l'ouvrage d'une seule main¹ et on y trouve «souvent des expressions obscures et une méthode défectueuse, quelquefois des marques évidentes de précipitation, tant dans le raisonnement que dans la rédaction». Le ton est peut-être excessif, mais les commentaires renvoient à plus d'un problème réel de cette publication.

Au-delà de la polémique, l'article de Forbes présente avec clarté les acquis récents de la recherche sur les glaciers. Il sou-

ligne avec force les points qui attendent des solutions appropriées. Il fait ressortir la faiblesse des théories qui s'affrontent alors et propose une approche purement mécanique du phénomène pour sortir de plusieurs impasses. Partisan convaincu de la mobilité des glaciers et des variations de leur étendue dans le temps, il juge que la solution de la dynamique glaciaire exige des données précises sur les vitesses de déplacement. Celles-ci doivent être établies au cours des différentes époques de l'année et en différents points répartis sur l'ensemble de la surface du glacier. Faute de cet appui contraignant, les théories restent dominées par les appréciations subjectives. Celles qui s'affrontent souffrent toutes d'un manque évident de rigueur et d'une mauvaise connaissance des lois physiques qui dominent le sujet. A l'époque, le travail de Forbes (1842a) apparaît comme l'étude la plus significative de la dynamique glaciaire. Par ses commentaires critiques et l'énumération des recherches à entreprendre, il dépasse largement, sous cet aspect, les contributions de Charpentier et d'Agassiz. Les recommandations de Forbes constituent une bonne part du programme de recherche qu'Agassiz et son équipe appliqueront sur le glacier de l'Aar à partir de 1842. Dans un travail ultérieur, Forbes (1860) va même jusqu'à prétendre: «The measurements of M. Agassiz, moreover (as I indicated at p. 37 of my *Travels in the Alps*), were made at my suggestion, and were chiefly pursued by methods specifically indicated by me to him in 1841; methods similar to those which I myself put in practice. It is also well known that no such observations had been undertaken by M. Agassiz until after my visit to the glacier of the Aar. I had also publicly urged the necessity for such observations being undertaken, in the *Edinburgh Review* for April 1842».

Plus que tous les autres chercheurs engagés à cette époque dans la recherche glaciaire, Forbes apparaît comme celui qui est le plus fermement inspiré par l'application des principes de l'actualisme: «A moins d'avoir rigoureusement déterminé quels sont les effets produits par les glaciers actuels, il serait inutile de discuter les preuves des traces qu'ils auraient laissées dans des lieux où l'on n'en trouve plus aujourd'hui» (Forbes 1842b, p. 224). De plus, pour lui, la solution de la dynamique glaciaire ne dépend que de la stricte application des lois de la physique. Au contraire d'Agassiz, il veut conduire sa recherche en solitaire avec la seule aide d'un porteur. Cette attitude limitera la progression de ses travaux. Les résultats de ses propres recherches (Forbes 1843) ne lui permettront de proposer que des solutions partielles à sa remarquable étude critique. Il est vrai qu'il abandonnera assez rapidement les glaciers, en partie pour des raisons de santé, non sans avoir effectué au pas de charge, lui aussi, de longues courses en haute montagne où l'exploit physique semble l'avoir emporté sur l'intérêt scientifique.

Dans toute cette étude, en dehors de ses revendications de priorité, Forbes se montre extrêmement discret sur l'information qu'il a lui-même glanée durant les trois semaines passées en compagnie d'Agassiz et de ses compagnons. Par cette attitude, il se montre ainsi fort semblable à son hôte.

¹ C. Vogt a soutenu que la majeure partie des principaux écrits de cette époque ne sont pas de la main d'Agassiz.

Au cours des étés suivants, les recherches se poursuivent au glacier de l'Aar. En 1842, le bloc erratique sur lequel s'appuie l'Hôtel des neuchâtelois commence à se fendre. Ce premier refuge est remplacé par la construction d'une cabane en bois plus spacieuse: L'Arche. Certaines nuits, celle-ci accueille plus de 20 personnes, les collaborateurs scientifiques, des amis et des visiteurs dont certains viennent de fort loin. Informés de cette nouvelle curiosité de l'Oberland bernois, des savants aussi prestigieux que Faraday mais aussi de simples touristes viennent se rendre compte sur place de l'extraordinaire aventure qu'Agassiz poursuit dans ces zones inhospitalières. En 1843, L'Arche qui supporte mal d'avoir été construite sur un glacier en mouvement, est abandonnée à son tour. Une nouvelle installation, Le Pavillon, est alors établi sur la rive gauche du glacier.

Aux dépenses engagées par ces problèmes d'infrastructures s'ajoutent celles qui sont exigées par la poursuite de la recherche: soutien des collaborateurs scientifiques, guides, ouvriers divers, équipe de forage ainsi que le ravitaillement de toute cette troupe. Le roi de Prusse accorde bien à Agassiz une aide financière, mais comme à l'ordinaire, elle sert à éponger les dettes antérieures plutôt qu'à faciliter de nouvelles activités. Il faudrait donc se limiter, mais cette attitude n'est pas dans les habitudes du personnage. Il importe d'aller de l'avant.

Une visite entreprise au Grimsel en mars 1841, montre qu'à la sortie du glacier, le lit de la rivière est à sec. On en conclut que durant l'hiver, la roche n'apporte pas assez de chaleur pour assurer une fusion à la base du glacier. Celui-ci ne peut donc pas progresser sur une semelle fluide durant la saison froide. Comme les eaux de fusion n'alimentent plus les microfissures, le glacier doit alors être totalement stationnaire. Cette proposition paraît confirmée par l'absence de déformation dans la neige située au front du glacier.

C'est en 1840 déjà qu'Agassiz entreprend les premiers forages pour mesurer la température à l'intérieur du glacier. A 7 mètres de profondeur, il observe une température stable de 0 °C qui se maintient de jour comme de nuit. Au cours des années suivantes, les sondages qui pénètrent jusqu'à 65 mètres, confirment cette importante découverte. De plus, les thermomètres à minima, qui sont laissés dans le glacier durant tout l'hiver prouvent que cette température subsiste tout au long de cette saison froide. La neige, comme les premiers niveaux de glace, assurent au glacier une isolation thermique très efficace vis-à-vis des variations de température de l'atmosphère. Des expériences pratiquées avec des liquides colorés montrent que l'eau filtre à travers toute l'étendue du glacier en utilisant des fissures de toutes dimensions. Ce phénomène persiste même durant les nuits froides. L'ensemble de ces remarquables observations devrait permettre à Agassiz d'abandonner l'idée que la progression du glacier est produite par la congélation des eaux d'infiltration. Il ne peut pas se décider à faire ce grand pas.

Dès 1842, Agassiz s'assure la collaboration de l'ingénieur J. Wild afin de lever une carte précise du glacier à l'échelle

1 : 5'000, qui sera gravée au 1 : 10'000. Ce magnifique document avec ses repères précis permet enfin de suivre en toute rigueur les déplacements des différentes parties du glacier. Les mesures faites sous l'autorité d'un topographe compétent permettent enfin de disposer de repères très précis, de placer des jalons dont certains sont relevés journalièrement. A sa grande surprise, et contrairement aux idées qu'il soutenait, Agassiz constate que la partie médiane du glacier progresse nettement plus vite que ses bordures. De même, bien que la pente augmente en direction de l'aval, la vitesse se réduit dans cette direction. Ces nouvelles données sont peu compatibles avec l'impression de rigidité que la glace impose à tous ceux qui vivent à son contact. Elles s'accordent par contre assez bien à la proposition de la plasticité du glacier défendue par Forbes et déjà proposée par Mgr. Rendu dès 1840. Là non plus, malgré les faits, on n'est pas disposé à changer d'avis.

Agassiz utilise également les forages avec l'idée qu'il sera possible de préciser l'épaisseur du glacier qu'on estime être proche de 30 à 40 mètres. Au cours des années, et en fonction des difficultés rencontrées, des moyens de plus en plus importants sont mis en œuvre. En 1842, la profondeur de 65 mètres est atteinte. Ce beau résultat perd beaucoup de sa valeur car on vient de constater que certaines crevasses ont plus de 200 mètres de profondeur. Fort heureusement, ces investigations apportent tout de même certains résultats. Elles montrent que les fissures, gorgées d'eau ou d'air, s'étendent dans la glace compacte jusqu'à ces profondeurs. La reconnaissance de l'importance de l'ablation annuelle, celle de la limite supérieure atteinte par les stries glaciaires, font partie de la moisson scientifique de ces années de travail. En 1842, l'activité sur le glacier se prolonge du début juillet jusqu'en septembre par un temps acceptable. En 1843 par contre, les fortes précipitations de l'hiver ont laissé un épais manteau de neige en altitude. Le mauvais temps qui persiste ne permet pas de localiser les repères situés dans la partie supérieure du glacier. L'appréciation du mouvement de ce secteur est ainsi entravée. En 1844, en prenant prétexte des conférences de Chambéry, Agassiz renonce à se rendre au Grimsel. Les soucis familiaux et financiers qui l'accablent alors ne sont très probablement pas étrangers à cette décision. Celle-ci montre aussi que le formidable élan des années précédentes se trouve passablement émoussé en partie par le fait que les résultats se font moins spectaculaires. Ainsi que le constate Marcou (1896), les moyens à disposition sont engagés par une équipe qui reste par trop guidée par l'improvisation et qui manque d'une vision claire sur les objectifs qui devraient être prioritaires. Au cours des ans, Desor prend une part de plus en plus importante dans la direction des travaux sur le glacier. Avec le retrait d'Agassiz, il s'impose comme le principal responsable, au moment où la dynamique de la recherche montre des signes d'essoufflement. Ce relâchement n'est cependant pas sensible au niveau de la promotion et de la publicité. Par son engagement personnel constant dans la diffusion des résultats, Agassiz reste le principal et le plus efficace artisan d'une prise de conscience collective favorable aux recherches scientifiques dans le domaine alpin.

C'est en 1842 que le glacier de l'Aar reçoit la première visite de M. Dollfuss-Ausset, un industriel fortuné de Mulhouse, passionné de paysages alpins. Il est présent durant la campagne de 1843 et se montre dès lors un partenaire particulièrement actif. Au cours de la dernière et brève visite qu'Agassiz effectue au Grimsel, c'est à lui qu'il demande d'assurer la poursuite des observations engagées maintenant depuis plus de 5 années dans cette région.

Dernières conférences en Europe

En 1844, la réunion extraordinaire de la Société géologique de France se tient à Chambéry, alors encore rattachée au royaume de Savoie. C'est une excellente occasion pour faire le point sur la géologie des Alpes et pour évoquer les glaciers qui ont couvert la région d'importants dépôts erratiques. L'évêque d'Annecy, Mgr. Rendu, assure la présidence de l'assemblée. Il est l'auteur d'un remarquable ouvrage sur les glaciers de Savoie contemporain de ceux d'Agassiz et de Charpentier (Rendu 1841). Au cours de la réunion, ce partisan convaincu du transport de l'erratique par les glaciers expose avec une grande logique et beaucoup de simplicité les arguments qui montrent «que les blocs erratiques de toute la vallée de l'Arve ont dû être transportés par un agent solide; or, comme il est impossible d'en assigner un autre que les glaciers, ce sont bien eux qui ont donné lieu à ce phénomène» (Rendu 1844). Agassiz, à la tête d'une importante délégation neuchâteloise, assure la vice-présidence de la réunion. Même si Mrg. Rendu défend la plasticité des glaciers, son exposé donne pleine satisfaction à Agassiz et entraîne l'adhésion de la majorité des auditeurs. Agassiz et Guyot parviennent à réfuter ou à minimiser les quelques objections qui se font entendre. Elles s'appuient trop souvent sur des observations trop sommaires comme la composition de l'erratique de la région de Lyon, encore bien mal analysée à l'époque. Dans les débats, on constate qu'Agassiz et Guyot donnent de plus en plus d'importance aux stries et galets striés en tant que preuve de l'extension des anciens glaciers. Ces indices cependant ne doivent pas être pris isolément, mais ils demandent à être intégrés dans l'ensemble des observations régionales.

Le Bulletin de la Société géologique de France de cette époque montre toute l'importance prise par le phénomène glaciaire et erratique chez les géologues français. Au cours des ans, le transport par les glaciers gagne de plus en plus de partisans. Les premières observations pertinentes viennent de la région des Vosges (Renoir 1840). Elles sont la conséquence directe des débats provoqués par les conférences données par Agassiz et Guyot à Porrentruy en 1838. Les contributions de Hogard (1845) soutenues par une iconographie qui laisse peu de place à d'autres interprétations ainsi que celles de Collomb (1845 et 1847) imposent définitivement la théorie glaciaire dans ces régions. Ces travaux font bien référence aux travaux de Charpentier mais on se range surtout sous l'autorité Agassiz. Ce dernier utilise immédiatement toutes les données dis-

ponibles pour raffermir l'idée que toute l'Europe septentrionale aurait été recouverte par une grande carapace de glace.

En France, les publications de Martins sur les glaciers du Spitzberg et les recherches qu'il entreprend avec Bravais au petit glacier du Faulhorn (Martins 1842 et 1845) ont permis de convaincre plus d'un chercheur du rôle des glaciers et de leurs modifications. A Paris, avant de s'embarquer pour les USA, Agassiz donne encore une ultime conférence sur les études qu'il a menées dans les Alpes (Agassiz 1846). D'après Marcou (1896), au cours de cette manifestation qui précède l'adoption de la théorie glaciaire par la majorité des géologues français, il ne se produit plus que des escarmouches d'arrière-garde. Sentant que le vent tourne, le grand opposant qu'est Elie de Beaumont, n'attend même pas la fin de la séance pour se retirer.

Dans tout le domaine alpin, ainsi que dans les régions voisines, la grande majorité des chercheurs acquis à la théorie glaciaire connaissent les travaux de Charpentier, mais là aussi, c'est avant tout à l'oeuvre d'Agassiz qu'on se réfère. Sur le versant méridional des Alpes, les objections de Collegno (1845) à une importante extension des glaciers, comme la résistance de Sismonda n'ont été vaincues que par la contribution de Martins & Gastaldi (1850) qui confirme enfin les observations antérieures de Studer. En Suisse centrale et orientale, le ralliement d'Escher n'a pas été immédiat, mais a été déterminant pour que les nouvelles idées s'imposent largement. Ce chercheur qui a participé aux expéditions sur le glacier de l'Aar ne manque pas de souligner l'importance de la contribution de son ami Agassiz, tout en sachant reconnaître la priorité de Charpentier (Escher von der Linth 1842). Leblanc (1843) paraît être le premier géologue qui a rendu compte de l'importance du phénomène erratique dans la totalité des Alpes orientales, du lac de Constance jusqu'aux abords de Vienne. Il a souligné l'association de ce phénomène avec la présence des très nombreux lacs de ces régions.

Système glaciaire

Cette œuvre qui marque la fin de l'activité d'Agassiz sur les phénomènes glaciaires en Europe aurait dû comprendre 3 volumes. Seul le premier, consacré aux glaciers actuels, à leur structure et leur progression fut publié et signé par Agassiz. Les travaux de Guyot sur la distribution de l'erratique autour des Alpes ainsi que ceux de Desor sur les glaciers dans le monde qui devaient compléter l'ouvrage sont restés à l'état de projets. L'édition, confiée à Victor Masson à Paris, fut un échec. Au moment de la sortie de l'œuvre, les événements politiques de 1848 qui éclatent dans la capitale française n'ont certainement pas favorisé sa diffusion. De plus, Agassiz, qui est alors confronté aux accusations de Desor aux USA (Lurie 1969), se trouve plus préoccupé par son avenir américain que par le destin de ses travaux antérieurs. Il ne soutient plus la promotion de son œuvre avec la ferveur qu'il avait montrée dans d'autres circonstances. Pour les chercheurs comme pour le public, le nouvel ouvrage n'a plus l'attrait de la nouveauté qui avait marqué les *Etudes*. Une bonne partie des résultats

qui y sont consignés est déjà connue par les nombreuses notes d'Agassiz et Desor. En dehors des deux belles planches du glacier de l'Aar par Wild, les lithographies de l'Atlas ne sont plus l'œuvre de l'incomparable Nicolet. D'après Marcou (1896), Desor aurait, comme à l'ordinaire, assuré la rédaction de l'ouvrage. Agassiz, pour sa part, bien que manquant du calme nécessaire à un tel travail, contrôlait la finition de l'ouvrage et précisait les adjonctions qui devaient y être portées. Tout fut pourtant terminé avant qu'Agassiz ne quitte Paris. Après le départ de Desor, c'est Charles Martins qui aurait assuré les toutes dernières mises au point de cette oeuvre qui a certainement souffert d'avoir été engendrée dans un climat peu favorable à la réflexion.

Sur le plan scientifique, le *Système glaciaire* (Agassiz 1847), malgré ses qualités, offre à bien des égards l'aspect d'un rapport de recherche intermédiaire plutôt que celui d'une oeuvre achevée. Dans ce volume, Agassiz et ses aides font part de la majorité des expériences qu'ils ont effectuées sur le glacier de l'Aar. Certains résultats sont de première importance (température interne du glacier, limites supérieures des stries et des roches moutonnées) mais d'autres font ressortir la complexité de certains phénomènes (stratification du glacier et traces de déformation, analyse du mouvement de la glace et ses causes). A vouloir rapporter toutes les expériences effectuées, les résultats les plus significatifs ne sont pas toujours mis en pleine valeur. Plusieurs parties du texte n'offrent pas la limpidité qu'on trouve ordinairement dans les écrits d'Agassiz. *Le Système glaciaire* fut cependant une contribution importante pour tous les savants qui étaient alors engagés dans ce type de recherche. Ils y trouvaient les résultats de nombreux travaux expérimentaux et pouvaient y découvrir des problèmes attendant encore leurs solutions.

Dès qu'Agassiz pose le pied sur le sol américain, il reconnaît à Halifax les traces de l'érosion glaciaire. Au cours des ans, son intérêt pour ces problèmes ne le quittera jamais. Carozzi (1966 et 1974) évoque parfaitement ce trait. Il montre également avec quelle rapidité le *Nouveau Monde* a pris connaissance de ses travaux, cela même avant qu'Agassiz ne s'y établisse.

Discussion

Aux yeux de beaucoup de ses contemporains déjà, mais surtout face à l'histoire, Agassiz s'est imposé comme le grand pionnier de l'ancienne extension des glaciers liée à une brusque et sévère détérioration climatique durant le Quaternaire. Dans la filiation suisse, sans faire l'analyse des nombreux précurseurs du phénomène glaciaire (cf. Vögele 1987), on sait qu'au début du 19^{ème} siècle, plusieurs observateurs locaux proposaient déjà que les blocs erratiques, ceux des Alpes surtout mais également ceux du Jura, étaient liés à l'extension d'anciens glaciers. Parmi ceux-ci, le chasseur de chamois J.-P. Perraudin (Forel 1899) mérite une mention particulière puisqu'il a contribué à la reconnaissance du glaciaire valaisan (Venetz 1833, p. 24, Charpentier 1841, p. 241–242). On

peut également mentionner le bûcheron anonyme rencontré par Charpentier au Brünig qui lui signale que les blocs granitiques qu'il contemple proviennent du Grimsel d'où ils ont été apportés par les glaciers (Charpentier 1841, p. 242–243). A cette époque, alors que le Diluvianisme est encore très présent, il n'est pas étonnant que la dispersion de l'erratique par de grandes débâcles (von Buch, de Beaumont et d'autres) puisse s'imposer facilement (Rudwick 1969). Venetz et Charpentier, qui ont été parmi les rares témoins de pareilles catastrophes, jugent par contre que celles-ci sont loin de posséder les puissances requises. Les glaciers qu'ils ont étudiés de longue date paraissent être une bien meilleure solution. Bien que cette proposition s'appuie sur des observations concrètes, elle ne rencontre que peu d'échos favorables. La méconnaissance des paysages alpins explique partiellement la résistance rencontrée, mais la cause principale de cette attitude est certainement associée à la difficulté d'abandonner d'anciennes idées reçues.

Dès ses premiers écrits sur le sujet, Venetz apporte, avec une remarquable clarté, les preuves des fréquentes variations de l'étendue des glaciers. Il montre que si elles ont été relativement modestes dans les temps historiques, elles ont connu des proportions gigantesques dans des temps très reculés. Ses considérations s'appuient sur des observations provenant avant tout de l'espace limité du Valais. C'est dans ce même cadre, légèrement agrandi, que Charpentier puisera ses propres connaissances. Pour sa part, dès le *Discours*, Agassiz place le refroidissement climatique dans la perspective d'un phénomène affectant la terre tout entière. Au regard de la postérité, ce changement d'échelle a certainement été l'un des facteurs importants pour que la communauté scientifique internationale lui assure la paternité de la révolution glaciaire.

On l'a vu, les travaux de Charpentier sont basés sur une longue expérience du phénomène glaciaire et sont l'objet de descriptions honnêtes et précises où l'auteur évite, autant que possible, de s'engager dans des spéculations hasardeuses. Par cette rigueur, son message ne peut rivaliser avec l'éclat qu'Agassiz donne au sien sans jamais manquer d'utiliser des observations étonnantes et nouvelles pour lancer de nouvelles idées. A plus d'une reprise, tout au long de ses recherches sur les glaciers, Agassiz a largement utilisé les revues internationales pour faire connaître ses idées au-delà des frontières. Charpentier, qui n'a pas totalement négligé cet usage, montre qu'à cette époque déjà cette démarche n'était pas une condition suffisante pour se faire entendre et reconnaître au niveau international.

Les recherches conduites par Agassiz sur les glaciers sont une entreprise collective qu'il dirige en patron qui sait apprécier les mérites de ses collaborateurs tout en veillant à ce que ceux-ci conviennent de sa prééminence. A l'époque de ces faits, il est probablement normal que la gloire associée à toute cette activité soit d'abord réservée à celui qui en est l'âme et qui en assume l'organisation, la responsabilité. Agassiz se montre du reste généreux envers ses associés en leur permettant de signer des notes personnelles. Desor, le grand bénéfi-

ciaire de cette libéralité, sait en user à merveille, n'oubliant jamais de souligner sa subordination dans la magnifique opération à laquelle on l'a associé. Très tôt, il sait aussi apporter sa contribution aux tâches ingrates. Afin de soutenir les idées défendues par son chef, il prend une part active aux attaques contre Charpentier et la représentation que celui-ci propose du glacier du Rhône (Desor 1841). Par la suite, il s'engage tout aussi fermement aux côtés de son patron dans l'affaire Forbes (Marcou 1896). D'autres comme Guyot gardent leurs distances face à Agassiz qui ne peut que difficilement admettre dans son entourage la présence de rivaux comme Forbes ou Charpentier, même s'il est conscient qu'il leur doit beaucoup. Il serait tout de même faux de ne pas reconnaître qu'Agassiz a su conserver d'excellents contacts avec de nombreux chercheurs travaillant dans le domaine glaciaire, essentiellement ceux qui reconnaissaient son rôle de pionnier.

A nos yeux, deux facteurs importants et peut-être déterminants ont favorisé le succès d'Agassiz : sa constante assurance dans la valeur de son message et surtout l'important capital de confiance qui lui est alloué très tôt par le cercle scientifique international. Comme Latour (1995) le constate, la crédibilité du chercheur n'est pas uniquement dépendante de la valeur intrinsèque de sa recherche, elle est aussi fortement influencée par le crédit accordé par ses pairs sur des bases subjectives. Celui dont Agassiz a bénéficié a été très précoce et n'a pratiquement jamais cessé de croître. Au cours de ses études déjà, il jouit, de la part de ses professeurs, d'une attention peu ordinaire. Il parvient encore à amplifier l'espoir qui est mis en lui par l'accueil qu'il reçoit de Cuvier et d'Humboldt. Ce climat de confiance dont Agassiz s'entoure avec tant de facilité est certainement lié à son grand charme naturel. Il sait aussi écouter, faire apprécier ses compétences et son immense savoir qu'il aime partager avec son entourage. Son discours aisé, son enthousiasme communicatif lui permettent de s'engager dans des actions flamboyantes dont les éditions luxueuses de ses ouvrages et les expéditions multidisciplinaires sur les glaciers sont des exemples types. Son *Discours*, comme ses prises de position en Grande-Bretagne, auraient certainement conduit à des échecs, ou au moins à des oublis passagers, si ces messages avaient été donnés par les savants plus modestes, moins connus, qu'étaient Venetz ou Charpentier. Lorsque le premier présente les résultats de ses investigations sur le climat, peu d'efforts sont entrepris pour publier rapidement son mémoire; sa conférence de 1829 n'attire que peu d'attention, même si elle fait l'objet d'une petite note (Venetz 1829). Un accueil tout aussi modeste est réservé en 1834 aux travaux de Charpentier. Mais lorsqu'à Neuchâtel ou à Londres, Agassiz s'engage sur le même sujet, en le dramatisant il est vrai, les grands de la géologie se lèvent pour manifester. Leurs attaques deviennent même l'un des facteurs essentiels conduisant à la diffusion de ces idées nouvelles. La géologie allemande ne peut ignorer les critiques d'Humboldt et de von Buch surtout, pas plus qu'il est possible en France de négliger les réactions négatives prises à ce sujet par Elie de Beaumont. En Grande-Bretagne, le soutien donné par Agassiz au catastrophisme de

Buckland fait peut-être moins de bruit que les sarcasmes de Murchison. Celui-ci (Murchison 1842), une année après le passage d'Agassiz, consacre, dans son rapport présidentiel à la Société géologique de Londres 16 pages à l'examen critique de la théorie glaciaire (cf. Cunningham 1990, p.146–149) alors qu'il traite les roches paléozoïques et secondaires en seulement 12 et 3 pages respectivement.

On l'a vu, lors de ses présentations en Suisse comme en Grande-Bretagne, le message d'Agassiz est souvent vivement attaqué. Presque toujours, c'est l'idée même des grandes glaciations et des changements climatiques qui se trouve rejetée. Ce concept basé sur les idées de Venetz et Charpentier prend, chez Agassiz avec l'aide de Schimper, une dimension globale dont la fécondité éclaire encore la recherche actuelle. Malheureusement pour la science d'alors, mais pas pour l'éclat de sa proposition, Agassiz met celle-ci en parallèle avec l'anéantissement supposé de toutes les faunes et flores qui auraient précédé celles des temps actuels. Pour justifier sa thèse, il ne peut utiliser que les découvertes d'ossements et de restes de mammouths faites en Sibérie. L'aspect sensationnel de ces trouvailles, bien mal datées à l'époque, l'engage à renoncer à un examen sérieux des faits qui pourrait montrer une réelle coupure entre les faunes anciennes et actuelles. Ici comme à la base de plusieurs de ses propositions, des idées hâtivement élaborées, des approches dogmatiques et des a priori l'emportent sur l'analyse rationnelle. Cette dernière garde cependant toute sa force lorsqu'il l'engage dans la description d'objets concrets.

A l'époque où Agassiz publiait ses travaux, peu de savants ont fait part des erreurs et du manque de cohérence de certaines de ses propositions; de nos jours encore, nombreux sont ceux qui préfèrent ignorer ces faits. Le crédit considérable dont il jouissait et jouit encore semble le protéger pour toujours de critiques pourtant justifiées. Lorsque certains, comme Forbes, s'y lancent avec détermination et insistance, la confrontation prend rapidement une tournure où les adversaires cherchent tout autant la blessure personnelle que l'établissement de la vérité scientifique. Charpentier pour sa part, dans les remarques incorporées à son ouvrage, s'efforce avant tout à rétablir les faits en fonctions de ses propres observations. En réponse à la rupture de dialogue que lui signifie Agassiz, il choisit d'en rester là.

Tout au long de sa vie, Agassiz garde une pleine assurance de sa supériorité et de l'infailibilité de ses propositions. Il répète à qui veut l'entendre: «Si vous avez des doutes sur ma théorie, allez observer par vous-même les glaciers et vous reviendrez convaincu». Cette confiance, presque sans faille, rend très difficile tout revirement que pourraient dicter de nouvelles données (dilatation de la glace, indépendance des glaciers alpins et de la nappe de glace du Plateau suisse, méconnaissance des moraines du Plateau et du Jura). Trop peu contrôlée, elle le conduit parfois à évoquer des sujets qu'il domine mal. Ainsi dans les *Etudes*, les lèss de la vallée du Rhin, qu'il a vus mais pas étudiés, deviennent une accumulation de molasse finement triturée transportée par les eaux des derniers stades de la fonte des glaces. Plus tard, lors de son voyage au Brésil, fidèle aux

affirmations du *Discours*, il croit même reconnaître des roches moutonnées dans la morphologie des paysages granitiques et gneissiques de ces régions tropicales et tenir ainsi la preuve que, durant la période glaciaire, la Terre entière était couverte par les glaces.

Agassiz s'est distingué en permanence par ses dons incomparables d'animateur ainsi que par un art consommé de la promotion de la connaissance. Durant ses années neuchâteloises, en dehors de ses engagements pour l'avancement des sciences au niveau local, de ceux qui sont liés à la production et à la publicité de ses œuvres dans des éditions de prestige, son engagement scientifique reste avant tout centré sur la biologie, celle des échinodermes, des Myes et autres mollusques mais surtout celle des poissons fossiles et vivants. Il ne peut donc consacrer qu'une partie de son temps à la recherche glaciaire. Il est probable qu'en se limitant à cette activité, il aurait évité certaines affirmations trop hâtives. Ses dons d'analyste l'auraient conduit à plus d'une occasion à davantage de prudence. Cette éventualité n'était cependant pas compatible avec son caractère, puisqu'il tenait à s'imposer dans les délais les plus brefs au faite de l'ensemble des sciences naturelles, en imposant le phénomène glaciaire comme la grande révolution de son temps. Au cours des ans, conscient des trop audacieuses généralités de son premier message et des difficultés du sujet, il réduit de plus en plus son champ de recherche. Il laisse à Guyot le soin de préciser l'extension des différents bassins glaciaires des Alpes centrales et renonce à poursuivre ses investigations en Valais ou au Mont Blanc. Il concentre toutes ses forces à l'examen du seul glacier de l'Aar afin d'y saisir les modalités de la dynamique glaciaire qui apparaît alors en être le problème crucial. Dans cette démarche, faute de bases solides, ses résultats paraissent assez décevants en comparaison des moyens engagés.

Au cours de ses recherches sur les glaciers, Agassiz est parvenu en quelques années à poser les bases de deux disciplines nouvelles: la glaciologie et la paléoclimatologie. Dans ces domaines, avant ses interventions, des travaux originaux avaient certes préparé la route. Mais c'est lui qui, par son influence et son charisme, ses actions d'éclat a donné à ces disciplines le retentissement et l'élan vital nécessaire à leur développement. Comme d'autres grands entrepreneurs, à plus d'une occasion, il s'est montré peu charitable envers ceux qui pouvaient lui porter ombrage. Bien que ses propres découvertes dans le domaine glaciaire soient relativement modestes et qu'un bon nombre de ses propositions ont du être abandonnées, il est parvenu à s'imposer, de son vivant et face à l'histoire, comme la figure phare de ce champ d'investigation. Cette célébrité gagnée à la faveur de multiples emprunts et par un sens aigu du spectacle, peut ainsi paraître abusive. Mais en science comme d'autres domaines des activités humaines, les jugements de valeur sont largement dépendants des points de vue et ils sont

très souvent influencés par un idéalisme naïf désireux de ne trouver dans la recherche que désintéressement et inspiration providentielle.

Conclusions

Lorsque Agassiz se lance dans l'étude des glaciers, ce biologiste de formation est assez mal préparé pour aborder les problèmes physiques qui dominent ce sujet. Malgré ces circonstances, la rapidité de son esprit, ses capacités de synthèse et son audace le placent d'emblée au front de ces recherches. Ses dons analytiques qui ont fait merveille en paléontologie lui permettent surtout de présenter une bonne et belle description du paysage alpin, de l'environnement des glaciers et de leur morphologie. Par contre, ils se révèlent insuffisants pour dominer la dynamique du phénomène glaciaire et pour le conduire à d'importantes découvertes. Faute de bases solides, Agassiz s'engage même souvent dans des voies erronées. Chercheur particulièrement avide de gloire, il écarte sans ménagement ceux qui pourraient se porter à sa hauteur. Au cours des séjours sur les glaciers, il se révèle être un animateur modèle de la recherche multidisciplinaire qu'il pratique en pionnier. Dans sa propre équipe, il sait créer et maintenir au cours des ans et dans des circonstances de travail difficiles, un remarquable esprit de collaboration. L'estime témoignée à ses travaux par le public et la communauté scientifique n'est pas attachée à une prise de conscience rationnelle basée sur des découvertes scientifiques significatives qui peuvent lui être reconnues. Elle est plutôt liée à l'esprit d'entreprise de l'homme, à son charisme et à son engagement sans ménagement dans une aventure où il a su exploiter les penchants du public par un sens aigu de l'émerveillement et de la mise en scène. Ces relations émotives ont certainement été facilitées par l'engouement de l'époque romantique pour les paysages alpins. Grâce à ces circonstances et à la solide détermination d'Agassiz, le phénomène glaciaire est devenu alors, en moins d'une décennie, l'une des disciplines phares des Sciences de la Terre. Dans celle-ci, pratiquement tous les savants engagés se réclament de son exemple, très souvent de son autorité.

Remerciements

Au départ, cette étude a été motivée par la découverte de documents originaux d'Agassiz trouvés lors d'un récent déménagement de l'Institut de Géologie de Neuchâtel. L'auteur désire exprimer sa gratitude à la direction de cette institution pour les excellentes conditions de travail qui ont été mises à sa disposition et qui ont grandement facilité son travail. A plus d'une reprise, il a bénéficié des judicieuses remarques de ses amis M. Burri, F. Persoz, W. Soerensen, R. Trümpy et M. Weidmann; que ceux-ci trouvent ici l'expression de sa reconnaissance. Pour leurs avis constructifs, il tient également à remercier les deux rapporteurs, Ch. Schlüchter et W. Wildi. Un très grand merci à Sabine Erb qui a accepté à plusieurs reprises et toujours avec le sourire de relire et de mettre au point différentes versions de ce travail et à M. Jeannet pour la lecture attentive des épreuves.

REFERENCES

- AGASSIZ E. 1887: Louis Agassiz, sa vie et sa correspondance, traduction Aug. Mayor. Fischbacher, Paris.
- AGASSIZ, L. 1835: Quelques observations sur la distribution des blocs erratiques sur les pentes du Jura. *Bull. Soc. géol. France* 7, 7.
- 1837a: Sur les blocs erratiques de la Suède. *Mém. Soc. Sci. nat. Neuchâtel*, 2, 13.
- 1837b: Discours d'ouverture de la réunion de la SHSN à Neuchâtel le 24 juillet 1837. *Actes Soc. helv. Sci. nat.* 22ème session, Neuchâtel 1837, v-xxxii.
- 1838a: Correspondenz aus Neuchâtel. *Neues Jb. Min. Geogn. Geol. Petrefaktenkunde*, Jg. 1838, 304–305.
- 1838b: Upon Glaciers, Moraines, and Erratic Blocs, being the Address delivered at the opening of the Helvetic Natural History Society, at Neuchâtel, on the 24th of July 1837. *Edinburgh new phil. J.* 24, 364–383.
- 1838c: Note sur les glaciers. *Bull. Soc. géol. France* 9, 443–450.
- 1840a: Etudes sur les glaciers, 1 vol. et Atlas. Neuchâtel et Soleure 1840.
- 1840b: On the polished and striated surfaces of the rocks, which form the beds of the glaciers of the Alps. *Proc. geol. Soc. London* 3, 321–322.
- 1840c: On Glaciers, and the evidence of their having once existed in Scotland, Ireland, and England. *Proc. geol. Soc. London* 3, 329–332.
- 1841a: Untersuchungen über die Gletscher. 1 vol. et Atlas. Solothurn, 1841.
- 1841b: Lettre à M. de Humboldt d'observations sur les glaciers. *C.R. Acad. Sci. (Paris)* 13, 818–820.
- 1842: The glacial Theory and its Progress. *Edinburgh new phil. J.* 33, 217–283.
- 1843: A period in the history of our Planet. *Edinburgh new phil. J.* 35, 1–29.
- 1846: Observations sur les glaciers. *Bull. Soc. géol. France* (2), 3, 415–418.
- 1847: Système glaciaire ou recherches sur les glaciers. Première partie: Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol. V. Masson, Paris, 1 vol. xxxi et 598 p. et un atlas.
- BERCHTOLD ST. & BAUMANN P. 1990: Ignaz Venetz (1788–1859): Ingenieur und Naturforscher. *Natf. Ges. Oberwallis*. Rotten Verlag AG, Brig.
- BOLLES, Ed. B. 1999: The Ice Finders: How a poet, a professor, and a politician discovered the Ice Age. *Counterpoint*, Washington.
- BOUÉ, A. 1843: Lettre adressée à M. de Wegmann. *Bull. Soc. géol. France* (2), 14, 61–72.
- BOYLAN, P. J. 1998: Lyell and the dilemma of Quaternary glaciation. *Geol. Soc. Spec. Publ.* No 143 *Lyell: the Past is the Key to the Present*, 145–159.
- BUCH, L. VON 1815: Über die Ursachen der Verbreitung grosser Alpenge-schiebe. *Abh. phys. Klasse Akad. Wissenschaften* Jahren 1804–1811, 161–168. In *Leopold von Buch Gesammelte Schriften*, 2, 597–623.
- 1837: Objections à la théorie glaciaire. *Bibl. univers. Genève* 10, 378–380.
- BUCKLAND, W. 1841: On the evidences of glaciers in Scotland and north of England. *Proc. geol. Soc. London*, 333–337, 345–348.
- 1842: Address delivered on the Anniversary, February 19th, 1841. *Proc. geol. Soc. London* 3, 469–540.
- CAROZZI, A. V. 1966: Agassiz's Amazing Geological Speculation: the Ice-Age. *Studies in Romanticism*, 6, 57–83.
- 1967: Studies on glaciers preceded by the Discourse of Neuchâtel by Louis Agassiz. *Hafner*, New York and London.
- 1974: Agassiz's influence on geological thinking in the Americas. *Arch. Sci. Genève*, 27, 5–38.
- CHARPENTIER J. DE 1835a: Annonce d'un des principaux résultats des recherches de Mr. Venetz, ingénieur des Ponts et Chaussées du Canton du Valais, sur l'état actuel et passé des Glaciers du Vallais. *Verh. schweiz. natf. Ges. Luzern* 1834, 23–24.
- 1835b: Sur les causes probables du transport des blocs erratiques de la Suisse. *Ann. Mines* (3) 8, 219–236.
- 1836a: Anzeige eines der wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen des Herrn Venetz über den gegenwärtigen und früheren Zustand der Walliser Gletscher. *Mittheilungen aus dem Gebiete der Theoretischen Erdkunde* herausgegeben von J. Fröbel et O. Heer, Bd.1, 482–495.
- 1836b: Account of one of the most important Results of the Investigations of M. Venetz, regarding the Present and Earlier Condition of the Glaciers of the Canton Vallais. *Edinburgh new phil. J.* 21, 210–220.
- 1841: Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône. M. Ducloux, Lausanne.
- 1846: Examen de la question: Si les effets produits par les inondations prouvent en faveur de l'hypothèse qui attribue les phénomènes erratiques à des courants. *Bull. Soc. géol. France* (2) 4, 274–287.
- COLLENGO, de H. 1845: Note sur le terrain erratique du revers méridional des Alpes. *Bull. Soc. géol. France* (2), vol.2, 284–303.
- COLLOMB, Ed. 1845: Sur les traces du phénomène erratique dans les Vosges. *Bull. Soc. géol. France* 2, 506–511.
- 1847: Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges et du terrain erratique, 246 p. Masson, Paris.
- CUNNINGHAM, F.F. 1990: James David Forbes, Pioneer Scottish Glaciologist. *Edinburgh, Scottish Academic Press*.
- CUVIER, G. 1825: Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal. *Dufour et Oca-gne*, Paris.
- DARWIN, CHS. R. 1839: Journal of researches into the geology and natural history of the various countries visited by H.M.S. Beagle under the command of Captain Fitzroy, from 1832 to 1836. H. Colburn, London.
- DELUC, J.-A. 1813: Geological Travels in some Parts of France, Switzerland and Germany, 2 vol. London. Travel amongst the mountains of Neuchâtel and Valangin, 1, 25–152.
- DESOR, Ed. 1841: Sur le niveau des roches polies et sur les conséquences qu'on peut en tirer. *Bibl. univers. Genève* 32, 390–393.
- 1841: Objections contre la théorie de M. de Charpentier. *Verh. schweiz. natf. Ges., Zürich* 1841, 69–70.
- 1844: Excursions et séjours dans les glaciers et les hautes régions des Alpes. *Kissling*, Neuchâtel.
- 1845: Nouvelles excursions et séjours dans les glaciers et les hautes régions des Alpes. *Kissling*, Neuchâtel.
- ELIE DE BEAUMONT, L. 1829: Recherches sur quelque-unes des révolutions de la surface du globe. *Ann. Sci. nat.* 18, 5–25, 284–461, 19 5–99, 177–240.
- 1841: Lettre à M. Agassiz sur l'action des glaciers. *Actes Soc. helv. Sci. nat., Fribourg* 1840, 1989–190.
- ENGELHARDT CHR. MOR. 1840: *Naturschilderungen, Sittenzüge und wissenschaftliche Bemerkungen aus den höchsten Schweizeralpen, besonders von Süd-Wallis und Graubünden*. Paris und Strassburg.
- ENGELHARDT, W. VON 1999: Did Goethe discover the ice age. *Eclogae geol. Helv.* 92, 105–114.
- ESCHER VON DES LINTH, A. 1819: Beiträge zur Naturgeschichte der freyliegenden Felsblöcke in der Nähe des Alpen-Gebergsws. *Neue Alpina*, 1, 1–31.
- 1840: Correspondenz aus Zürich. *Neues Jb. Miner., Geogn., Geol., Petrefakten-Kde.* Jg.8. 462.
- 1846: Sur quelques phénomènes des glaciers en Suisse. *Bull. Soc. géol. France* (2), Vol. 3, 231–237.
- FORBES, J. D. 1842a: The Glacier Theory. *Edinburgh Review* 75, 49–105.
- 1842b: Théorie des glaciers. *Ann. Chimie* 6, 220–255, 257–301.
- 1842c: On a remarkable Structure observed in the Ice of Glaciers. *Edinburgh new phil. J.* 32, 84–91.
- 1842d: Historical Remarks on the first Discovery of the real Structure of Glacier Ice. *Edinburgh new phil. J.*, 34, 133–152.
- 1843: Travels through the Alps of Savoy, and other parts of the Pennine Chain; with Observations on the Phenomena of Glaciers. 1 vol. 434 p. *Edinburgh*.
- 1860: Reply to Professor Tyndall's remarks in his work «On the Glaciers of the Alps», relating to Rendu's «Théorie des Glaciers». *Edinburgh*.
- FOREL F.-A. 1899: Jean-Pierre Perraudin de Lourtier. *Bull. Soc. vaud. Sci. nat.* 35, 104–113.
- GODEFFROY CH. 1840: Notice sur les glaciers, les moraines et les blocs erratiques des Alpes. *Paris et Genève*.
- GOHAU, G. 1990: Une histoire de la géologie. *Seuil*, Paris.
- GUYOT, A. 1840: Sur la distribution du terrain erratique dans le Jura. *Verh. schweiz. natf. Ges., Zürich* 1841, 71–72.

- 1883: Observations sur les glaciers. Procès-verbal d'une communication faite à la Société géologique de France, réunie à Porrentruy, août 1838. Bull. Soc. Sci. nat. Neuchâtel 13, 156–169.
- HALLAM, A. 1989: Great geological Controversies (Second edition). Oxford University Press
- HERRIES DAVIES, G.L. 1968: The tour of the British Isles made by Louis Agassiz in 1840. Ann. Sci. 24, 131–146.
- HOGARD, L. 1845: Note sur les traces d'anciens glaciers dans les Vosges. Bull. Soc. Géol. France (2), 2, 249–255.
- HÜGI F. J. 1830: Naturhistorische Alpenreise, Solothurn
- HUTTON, J. 1795: Theory of the earth, vol. 2, p. 212. Edinburgh.
- IMBRIE J. & IMBRIE, K.P. 1979: Ice Ages, solving the Mystery. Macmillan, London.
- LARDY, C. 1835: Eboulement de la Dent du Midi. Bull. Soc. géol. France 7, 27–29.
- LATOUR, B. 1995: Le métier de chercheur, regard d'un anthropologue. Ed. INRA, Paris.
- LEBLANC, F. 1843: Sur la relation qui existe entre les grandes hauteurs, les roches polies, les galets glaciaires, les lacs, les moraines, le diluvium, dans les grandes montagnes et dans une large zone autour des pôles de la terre. Bull. Soc. géol. France 14, 600–608.
- LURIE, Ed. 1960: Louis Agassiz, a Life in Science. University Press of Chicago, Chicago.
- LYELL, C. 1830–1833: Principle of Geology. 3 vols. Murray, London
- 1836: Address to the geological society. Proc. geol. Soc. London 2, 357–390 dont 382–83.
- 1841: On the geological evidences of the former existence of glaciers in Forfarshire. Proc. geol. Soc. London, 337–345.
- MACAIRE, I. 1837a: Compte rendu de la session de la Société Helvétique des Sciences naturelles à Neuchâtel (juillet 1837). Bibl. univers. Genève, 10, 368–382.
- 1837b: Sur les blocs du Jura, avec rectification de M. Agassiz. Bibl. univers. Genève 11, 416–418.
- 1842: Essai sur les glaciers et sur les terrains erratiques du bassin du Rhône, par Jean de Charpentier. Bibl. univers. Genève 37, 390–411.
- MARCOU, J. 1896: Life, letters and works of Louis Agassiz. 2 vol. New York and MacMillan and Co., London.
- MARTINS, CH. 1842: Remarques et expériences sur les glaciers sans névé de la chaîne du Faulhorn. Bull. Soc. géol. France 14, 133–145.
- 1845: Nouvelles observations sur le glacier du Faulhorn. Bull. Soc. géol. France (2) 2, 223–249.
- 1846: Réponses aux objections de M. Durocher contre l'ancienne extension des glaciers de la Scandinavie. Bull. Soc. géol. France, 102–126.
- MARTINS CH. ET GASTALDI B. 1850: Essai sur les terrains superficiels de la vallée du Pô, aux environs de Turin, comparés à ceux de la plaine suisse. Bull. Soc. géol. France, 7, 554–603.
- MURCHISON, R.I. 1842: Anniversary Address. Feb. 18th. 1842. Proc. geol. Soc. London, 3, 637–687.
- NECKER, L.-A. 1841: Etudes géologiques dans les Alpes. Paris 1841.
- PLAYFAIR, J. 1802: Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth. Creech, Edinburgh.
- PORTMANN, J. P. 1975: Louis Agassiz (1807–1873) et l'étude des glaciers. Denkschr. schweiz. natf. Ges. 89, 115–142.
- RENDU, MGR. 1841: Théorie des glaciers de la Savoie. Mém. Soc. royale acad. Savoie, 10, 39–158.
- 1844: Théorie sur les glaciers en général avec l'application au transport des blocs erratiques. Bull. Soc. géol. France 1, 631–636.
- RENOIR, E. 1840: Note sur les glaciers qui ont recouvert anciennement la partie méridionale de la chaîne des Vosges. Bull. Soc. géol. France 11, 53–65.
- 1841: Sur les traces des anciens glaciers qui ont comblé les vallées des Alpes du Dauphiné et sur celles de même nature qui paraissent résulter de quelques unes des observations faites par M. Robert dans la Russie septentrionale. Bull. Soc. géol. France 12, 68–82.
- RUDWICK, M.J.S. 1969: The Glacial Theory. History of Science 8, 136–157.
- SAUSSURE, H.B. de 1779: Voyages dans les Alpes, précédés d'un essai sur l'histoire naturelle des environs de Genève, 1, 317. Neuchâtel.
- SCHAEER J.-P. 1998: Les géologues et le développement de la géologie en pays de Neuchâtel. Muséum d'Histoire Naturelle Neuchâtel et Inst. Géologie Université Neuchâtel.
- SHAIRP, J.C., TAIT, P.G. AND ADAMS-REILLY A. 1873: Life and Letters of James David Forbes. Macmillan and Co., London.
- STUDER B. 1837: Briefe aus Bern. N. Jb. Min. Geogn. Geol. Petrefaktenkde. Jg. 1837, 669–673.
- 1838: Über die neueren Erklärungen des Phänomens erratischer Blöcke. N. Jb. Min. Geogn. Geol. Petrefaktenkde. Jg. 1838, 278–287.
- 1839a: Notice sur quelques phénomènes de l'époque diluvienne. Bull. Soc. géol. France 11, 49–52.
- 1839b: Briefe aus Bern. N. Jb. Min. Geogn. Geol. und Petrefaktenkde Jg. 1839, 208–211.
- 1839c: On some Phenomena of the Diluvian Epoch. Edinburgh new phil. J. 29, 274–279.
- SURDEZ, M. 1973: Catalogue des Archives de Louis Agassiz. Bull. Soc. neuchât. Sci. nat. 73, 4–202.
- TERRISSE, F.E. 1931: Réunion de la Société des Sciences naturelles, à Neuchâtel les 24, 25 et 26 juillet 1837. Bull. Soc. neuchât. Sci. nat. 56, 85–102.
- VENETZ, I. 1829: Sur le déplacement des glaciers. Bibl. univers. Sci., belles lettres et arts 41, 263–264.
- 1830: Sur l'ancienne extension des glaciers, et sur leur retraite dans leurs limites actuelles. Actes Soc. helv. Sci. nat., Réunion à l'Hospice du Grand Saint-Bernard 1829, Lausanne 1830.
- 1833: Mémoire sur les variations de la température dans les Alpes de la Suisse. Denkschr. allg. schweiz. Ges. ges. Natw. 2, 1–38.
- VÖGELE, A.-E. 1987: Die Anfänge der Gletscherforschung und der Glazialtheorie. Mitt. natf. Ges. Luzern 29, 11–50.
- VOGT, C. 1882: Eduard Desor, Lebensbild eines Naturforscher. Nord und Süd, Bd. 22, 108–127 et 262–274.
- WHITE, G. W. 1970: Announcement of glaciation in Scotland. J. Glaciology, 9, 143–145.

Manuscrit reçu le 23 novembre 1999

Révision acceptée le 5 mai 2000