

# Bilans hydrologiques du bassin versant du glacier de Careser (Alpes Centrales) au cours des trois années 1992-95

par G. C. Rossi

ENEL s.p.a. C.R.I.S., Unité hydrogéologique, VE-Mestre Zanon G.-Département de Géographie,  
Université de Padoue.

## I ■ LE GHIACCIAIO DEL CARESER

Le glacier de Caresèr (syn. : Vedretta Caresèr, Vedretta Pontevocchio, Moosferner) appartient au groupe du Cevedale (Alpes Centrales, Rhétiques). Il se trouve sur le versant méridional de la cime qui part du sommet du Cevedale (3 764 m) vers l'Est.

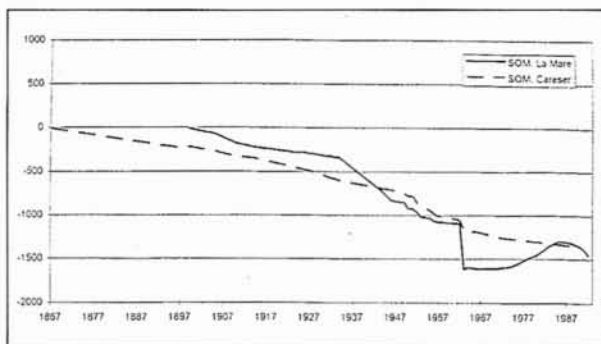
Du point de vue morphologique, il était classifié, dans le passé, comme *glacier de cirque* [1], bien qu'il soit pourvu d'une langue marécageuse assez développée, tandis que dans le cadastre de 1959-62 (n° 701) il était classifié comme *ghiacciaio di pianalto*. En 1962, il a subi le détachement définitif de la langue proglaciale qui en descendant par le couloir escarpé s'était progressivement amincie. Dans la classification successive reportée par le cadastre World Glacier Inventory (non publiée), qui se base sur des observations de 1980, il est classifié plus génériquement comme type *montano* étant donné qu'il manque une typologie plus précise à cause de l'incessante évolution de sa façade frontale.

Du point de vue de son activité, en raison de son exposition vers le Sud-Est, son recul ne s'est jamais interrompu depuis la plus grande expansion historique.

En cette occasion, il arrivait à friser le petit lac proglaciaire situé dans la plaine alluviale, actuellement occupée par

le bassin, qui se trouvait à une altitude de 2 550 m. Ce recul a été interrompu, seulement par quelques petites reprises qui ont eu lieu à la fin du siècle dernier [2], dans la seconde décennie du XX<sup>ème</sup> siècle et dans les premières années de 1980. Cependant, ces phénomènes, qui dans d'autres complexes glaciaires, également du même bassin, ont laissé des traces considérables, se sont révélés, dans ce cas, éphémères, si bien que le dernier phénomène du point de vue chronologique, tout en mettant en évidence une légère extension de la superficie de la zone d'accumulation, n'a pas provoqué d'avancement du front. Dans le but de marquer ce fait, dans la *figure 1* sont reportés les graphiques du déplacement accumulé des fronts du Ghiacciaio del Caresèr et du Ghiacciaio de la Mare ; des deux glaciers, qui appartiennent au même bassin, le second présente une morphologie plus favorable et une exposition orientée vers le nord, et il a eu, pendant les années 1980, une phase d'expansion.

L'émissaire du Ghiacciaio del Caresèr, est tributaire du torrent Noce, qui, à son tour, appartient au bassin hydrographique de l'Adige ; du point de vue hydraulique, il alimente, avec un bassin directement sous-tendu de 10,4 km<sup>2</sup>, et un bassin relié de 3 km<sup>2</sup>, un réservoir de 15,77 millions de m<sup>3</sup>, dont la retenue maximale est de 2 597,80 m, ce qui fait de lui un des plus élevés d'Italie.



**1. Cumul des variations de longueur des fronts glaciaires mesurés sur le Ghiacciaio del Caresèr et le Ghiacciaio della Mare.**

Ce glacier est le plus étudié des glaciers italiens ; les premières observations remontent en effet à J. Payer qui fournit aussi une estimation de son extension et de ses caractéristiques géométriques. Successivement il fut individualisé [1] comme objet d'étude également pour sa facilité d'accès dérivant de la construction de la digue et d'un funiculaire qui sert à l'installation hydroélectrique, et pour l'intérêt que suscitait l'étude de l'estimation des ressources hydriques. C'est en effet à cette période (début des années 30) que remonte la construction d'un observatoire près de la langue du glacier (à une altitude de 2 992 m au-dessus du niveau de la mer) et d'une station hydrométrique sur le torrent glacial Rio Caresèr dans la localité Baia Caresèr (à une altitude de 2 648 m au-dessus du niveau de la mer, avec un bassin sous-tendu de 8 km<sup>2</sup>). Toutefois la station hydrométrographique n'était pas accessible pendant la période d'enneigement, par conséquent, jusqu'au dégel avancé, l'appareillage qui enregistre sur papier ne pouvait être réactivé, et, étant donné que les mesures des écoulements printaniers manquent, il n'était pas possible de fermer le bilan hydrologique. C'est seulement à partir du mois d'octobre 1992, grâce à l'installation d'appareillage basée sur l'acquisition automatique, que l'enregistrement a été possible également pendant l'hiver et le printemps.

En outre, de nombreux relevés cartographiques pour l'évaluation de l'extension de la superficie glaciaire et des variations volumétriques [3] ont été réalisés. Les résultats sont reportés dans le *tableau 1*. A partir de 1967 on a effectué régulièrement les mesures pour l'évaluation du bilan de masse annuelle [4]. Les valeurs de volume sont calculées par rapport à la topographie du fond déterminée par Carabelli E. (1958) au moyen de prospection géosismique.

**II ■ CARACTÈRES CLIMATIQUES**

A partir de la date de construction de la digue, les observations de la station météorologique ont été disponibles. Celles-ci comprennent les précipitations (pluie ou neige fondue), les températures minimum et maximum et la hauteur de la couche neigeuse.

En outre, un héliographe a été installé pour mesurer la durée de l'insolation journalière.

Toujours dans le même bassin sont disponibles les enregistrements d'autres stations thermopluviométriques situées à des altitudes inférieures, dont les valeurs sont reliées à celles de la station Caresèr Diga, tandis qu'à des altitudes plus élevées sont installés des pluviomètres totalisateurs.

En outre, à partir de 1989, est en fonctionnement sur le glacier, une station météorologique ayant une acquisition automatique des données, qui mesure et enregistre les données nécessaires à la définition du bilan hydrologique (*tableau 3*) et énergétique du glacier.

**● 2.1 Précipitations**

La série historique du total des précipitations annuelles présente une valeur moyenne sur la période de 889,2 mm, avec une déviation standard de 169,4 mm. Tout en étant caractérisée par une dispersion remarquable, cette série met en évidence une nette tendance à la croissance avec une pente de + 0,71 mm (*fig. 2*).

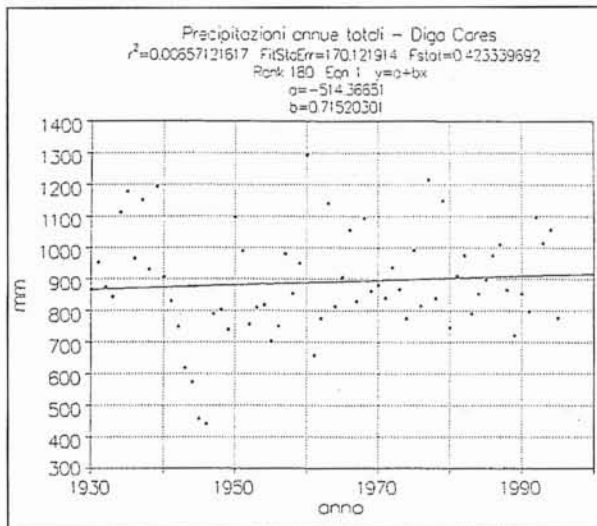
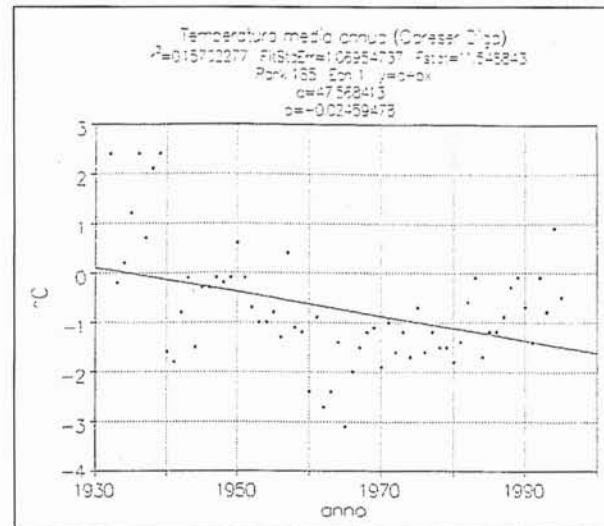
**Tableau 1. — Chronologie des observations sur les dimensions du Ghiacciaio del Caresèr.**

Source	date	surf. ha	volume hm <sup>3</sup>	elev. fron. m	long. max m	largh. max m
Payer J.	1869	564.0		2577	3600	3300
Richter E.	1888	684.0		2576		
Fritzch M.	1899	617.6				
Desio A, Pisa V.	1933	541.6		2654	3250	3300
Desio A.	1944	532.8		2750		
Catasto Ghiacc. It.	1957	505.0		2750	3250	3300
UIMA	1958	474.2	205.3	2709	2830	3300
Zanon G.-ENEL	1967	471.8	212.3	2840	2200	3350
Zanon G.-ENEL	1970	468.2	208.5	2855	2150	3350
W.G.I.	1980	468.0	(*) 151.2	2860	2400	
Zanon G.-ENEL	1980	482.9	196.0	2860	2150	3350
Zanon G.-ENEL	1990	385.7	137.7	2860		

(\*) évaluée au moyen d'une formule

**Tableau 3. — Caractéristiques des capteurs équipant les stations météonivométriques et hydrométriques.**

Sensors		position	trasdutor	memoriz.	echantillonnage	
				fréquence	fréquence	durée
Temper. de l'aire	TA	+ 5.50 m	resist. Pt	2 h	2 h	istant.
Humidité rel.	UM	+ 5.50 m	capacitivo	2 h	2 h	istant.
Temper. de la neige	TN	+ 0.20 m	resist. Pt	2 h	2 h	istant.
Velocité du vent	VV	+ 6.00 m	effetto Hall	2 h	5 sec	2 min
Direct. du vent	DV	+ 6.00 m	potenziom.	2 h	5 sec	2 min
Epèss. de la neige	HN	+ 5.50 m	Usonic	1 h	2 h	istant.
Radiat. sol. incidente	RI	+ 5.50 m	cella Moll	1 h	5 min	1 h
Radiat. sol. reflech.	RR	+ 5.50 m	cella Moll	1 h	5 min	1 h
Pression atmosph.	PA	+ 5.50 m	pressost.	2 h	2 h	istant.
Niveau hydraul.	HW	- 0.20 m	pressost.	1 h	1 min	1 h
Temper. de l'eau	TW	- 0.20 m	Pt 100	1 h	1 min	1 h
Voltage de batterie	BV	interieur	---	24 h	2 h	istant.
Temper. data-logger.	TD	interieur	---	24 h	2 h	istant.

**2. Evolution des valeurs de précipitations annuelles (Caresèr Diga 1930-1995) avec sa droite de régression.****3. Evolution des valeurs annuelles de température de l'air (Caresèr Diga 1933-1995) avec sa droite de régression.****2.2 Température de l'air et humidité relative**

La série historique des températures de l'air annuelles présente une valeur moyenne sur la période de  $5,9^\circ\text{C}$ , avec une déviation standard de  $1,2^\circ\text{C}$ . Elle présente une sensible tendance décroissante, avec une pente d'environ  $-2,5^\circ\text{C}/100$  ans ; la série des valeurs moyennes de l'été (de juin à septembre) présente un comportement analogue. Sa pente est d'environ de  $-1,7^\circ\text{C}/100$  ans.

A l'intérieur de la période examinée on met en évidence, pour toutes les deux séries, une période de réduction plus accentuée qui va des années 30 à la fin des années 60 et une récupération successive, qui arrive jusqu'à nos jours (fig. 3).

**2.3 Hauteur et équivalent en eau du manteau neigeux**

L'épaisseur du manteau neigeux est mesurée chaque jour à la digue avec des instruments manuels. En outre, six mesurages manuels de l'épaisseur et de la densité de la neige dans certains points du bassin, accessibles pendant la période d'hiver, sont effectués.

Les valeurs équivalentes en eau de ces mesures sont reportées au tableau 2. Pendant la période considérée, les mesures effectuées par la station automatique, au moyen d'un appareil à capteur sensoriel et d'ultrasons sont disponibles.

**Tableau 2. — Evaluation de la valeur de la couche de neige en mm équivalent eau mesurée dans le bassin du Ghiacciaio del Caresèr pendant la période 1992-95.**

date	punto 1 mm eq. eau	punto 2 mm eq. eau	punto 3 mm eq. eau	punto 5 mm eq. eau	punto 6 mm eq. eau	glacier mm eq. eau
1-2-93	195	309	383	273	294	842
1-3-93	206	331	361	201	214	
1-4-93	223	549	701	193	207	
15-4-93	253	0	681	217	232	
1-5-93	-	-	-	-	-	
1-6-93	-	478	783	78	86	
1-2-94	279	389	558	486	525	1050
1-3-94	206	-	347	323	348	
1-4-94	211	284	365	287	306	
15-4-94	247	286	590	310	332	
1-5-94	328	407	660	308	328	
1-6-94	168	257	343	249	268	
1-2-95	60	117	139	148	161	494
1-3-95	56	188	242	113	122	
1-4-95	52	265	346	144	157	
15-4-95	79	220	226	143	151	
1-5-95	158	361	416	150	163	
1-6-95	30	163	418	0	0	

#### ● 2.4 Radiation solaire

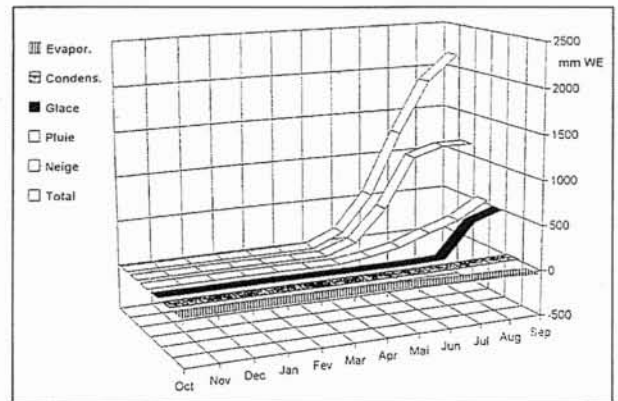
La station automatique mesure le flux de radiation directe et réfléctée avec une scansion horaire, qui permet d'évaluer le flux d'énergie solaire absorbée par la masse glaciale, dans le champ spectral du visible.

L'albédo de la superficie qui conserve une valeur supérieure de 90 % pendant la période de la couverture de neige, se réduit sensiblement dès que le manteau neigeux commence à fondre, et rejoint une valeur d'environ 60 % pendant l'ablation glaciale.

### III ■ BILAN DE MASSE

Le bilan spécifique de masse (mm équivalent en eau) est évalué comme la somme algébrique des termes d'accumulation nette et d'ablation nette calculés par faisceaux altimétriques ; ceux-ci sont calculés à travers l'interpolation de mesures ablatométriques superficielles effectuées sur les balises de contrôle distribuées dans les points significatifs du glacier. En outre, l'interpolation permet d'évaluer également l'altitude de la ligne d'équilibre (ELA) qui est étroitement liée à la valeur du bilan spécifique.

La série historique des valeurs annuelles du bilan spécifique de masse de 1967 à 1995 est reportée à la *figure 4* ; en suivant le graphique, on peut voir que le bilan est presque toujours négatif. Un autre détail intéressant est donné par l'étroite corrélation existant entre les valeurs du bilan de masse (et de ELA) du glacier de Gries. Cette caractéristique pourrait permettre de reconstruire les valeurs de la série du glacier du Caresèr qui manquent [5].



4. Régime annuel moyen (1992-95) des composantes du bilan hydrologique du bassin versant du Ghiacciaio del Caresèr.

### IV ■ CARACTÈRES HYDROLOGIQUES DE LA PÉRIODE

Les mesures hydrométriques disponibles sont relatives à la station hydrométrique sur le Rio Caresèr dans la localité Baia Caresèr, située immédiatement en amont de l'embouchure dans le lac.

Les enregistrements des écoulements mettent en évidence que pendant la période de fonte du manteau de neige, durant les journées ensoleillées le maximum est atteint vers 19 heures et le minimum vers 9 heures. Quand la glace est complètement découverte, le maximum, dans les mêmes conditions, est atteint à 17 heures, et le minimum à 7 heures.

Le contrôle des volumes qui se sont écoulés annuellement, peut être fait à travers le bilan des volumes d'eau du réservoir, en tenant compte du fait que toutefois, il sous-tend un bassin plus ample. Si l'on considère l'entière période d'exercice du réservoir même (1935-1995), la valeur moyenne du rapport entre les afflux mesurés au réservoir au cours d'une année hydrologique (exprimés comme épaisseur de la couche d'eau en mm) et la valeur de toutes les précipitations correspondantes, revient à 2,25.

Cela est dû en grande partie à la sous-estimation des précipitations de neige de la part du pluviomètre de la digue. Ce phénomène qui a été vérifié depuis longtemps [6, 7], nous a portés à conclure que cet instrument fournit des valeurs de précipitations qui s'élèvent autour de 50 % de l'équivalent en eau de la neige déposée dans le même intervalle sur le glacier.

**V ■ BILAN HYDROLOGIQUE**

Le bilan hydrologique du bassin fermé à la station hydrométrique du Rio Caresèr à la Baia a été calculé, avec l'hypothèse, que les quantités d'eau infiltrée dans le sous-sol n'ont pas d'influence, vu la grande imperméabilité du sol rocheux. On a d'abord effectué les calculs suivants sur les données journalières :

- correction des valeurs des précipitations mesurées à la digue pendant la période d'accumulation à travers le rapport entre la valeur d'équivalent en eau de la neige mesurée à la station nivo-météorologique du glacier en correspondance de la date de l'accumulation maximale et le correspondant de la sommation progressive des précipitations mesurées par le pluviomètre de la digue, en utilisant la moyenne des densités mesurées pendant la même période. Les coefficients de correction obtenus varient entre 2.01 et 2.35, et sont donc en ligne avec les observations précédentes.
- calcul des valeurs journalières de la sommation progressive des volumes (Q) écoulés à la section de fermeture ;
- calcul des écoulements journaliers dus à la fonte de la neige ( $\Delta N$ ) sur la base de la diminution de la hauteur du manteau de neige (en tenant constante la densité) ;
- calcul des écoulements dus à la pluie (P) ;

- répartition mensuelle des apports dus à la variation volumétrique du glacier sur la base de l'énergie radiante absorbée (Radiation incidente - Radiation réfléctée) ( $\Delta G$ ) ;
- calcul des pertes par évaporation/sublimation selon la formule dérivée de l'équation bien connue de Dalton, avec les coefficients tirés de la littérature [8].

$$E = 0.0175 u (e_a - e_s) \text{ (mm/jour)}$$

$$u = \text{vitesse à 3,5 m d'élévation (m/s)}$$

$e_s, e_a$  = tension de vapeur effective de l'air et tension de vapeur à saturation à la température de la neige (mb)

Successivement le bilan mensuel a été conduit selon le schéma suivant : pour la période du 1er octobre jusqu'à la disparition de la neige

$$P - \Delta N - E = Q$$

pour la période d'ablation glaciale

$$P - \Delta N + E = Q$$

Le bilan hydrologique mensuel moyen du glacier met en évidence que, pendant les trois années, l'épaisseur de la couche d'eau accumulée est 2 142 mm (equiv. en eau), dont 78 % proviennent de la fonte des neiges et des précipitations liquides et 23 % de la perte de masse du glacier, tandis que les éventuelles pertes par évaporation, pourraient avoir une incidence de moins de 3 %, et être, en partie, compensée par la condensation. Les débits jaugés par le bilan volumique du réservoir (13 %), après correction des apports glaciaux par l'augmentation de l'extension du bassin (dès 8 à 14,3 km<sup>2</sup>).

**VI ■ CONCLUSIONS**

Le bilan hydrologique du Glacier du Caresèr dans la période 1992-95 met en évidence un solde moyen de 2 124 mm (equiv. en eau) c'est-à-dire 17,17 millions de m<sup>3</sup>, confirmés dans une large mesure aussi par le bilan du réservoir. Les différences avec les débits mesurés, tant à la section de jaugeage que dans le réservoir peut être expliquée non seulement par de possibles erreurs de mesure, mais aussi par la schématisation des apports. Il faut aussi prendre en considération également d'autres phénomènes comme la condensation de l'humidité sur la superficie du glacier et des roches (les soi-disant précipitations occultes) à résolution temporelle horaire.

**tableau 4. — Régime moyen (1992-1995) des composants du bilan hydrologique du Ghiacciaio del Caresèr à la station de jaugeage de Rio Caresèr alla Baia (mm equiv. eau).**

	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep
Neige	0	0	0	0	0	0	0	115	470	1041	1143	1143
Pluie	0	0	0	0	0	0	0	41	109	230	343	535
Glace	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	395	502
Condens.	0	0	0	0	0	0	4	4	5	11	15	17
Evapor.	0	0	0	0	0	0	0	-8	-27	-33	-41	-55
Total	0	0	0	0	0	0	4	152	557	1264	1855	2142
Debit	15	58	68	78	78	78	78	98	444	1149	1745	1882
Producibil.	53	76	97	118	131	144	160	265	600	1105	1520	1679

## Bibliographie

- [1] DESIO A., PISA V. (1964). — *Relazione preliminare sullo studio idrologico-glaciologico del Ghiacciaio del Caresèr (Gruppo Ortles-Cevedale)*. Uff. Idrografico del Magistrato delle Acque - Pubbl. n. 132, 36 p.
- [2] FRITZSCH M. (1898). — *Gletscherbeobachtungen in der Ortlergruppe*- Mitt. der D.u. Öe. Alpenvereins, Bd XXV, Wien.
- [3] GIADA M. & ZANON G. (1991). — *Variazioni di livello e volumetriche sulla Vedretta del Careser (Gruppo Ortles-Cevedale) tra il 1980 e il 1990*. Geogr. Fis. e Dinam. Quatern. Vol. 14 (2).
- [4] ZANON G. (1992). — *Venticinque anni di bilancio di massa del Ghiacciaio del Caresèr, 196-67/1990-91*. Geogr. Fis. e Din. Quat. 15, pp. 215-220.
- [5] ROSSI G.C. & ZANON G. (1993). — *Impact of the recent glacier retreat on the hydrology of an alpine basin*. Proceed. IAHR Ice Symposium, Trondheim (N) pp. 334-344.
- [6] ROSSI G. & ZANON G. (1974). — *Contributo alla valutazione delle precipitazioni in un bacino glaciale*. Atti Tavola rotonda sulla Geografia della Neve in Italia — Soc. Geogr. It., Roma maggio 1973, pp. 223-232.
- [7] GIADA M. & ZANON G. (1985). — *Sulla misura e sulò comportamento delle precipitazioni ad alta quota*. Mem. Soc. Geogr. It. vol. XXXIX pp. 129-146.
- [8] MAIDMENT D. R. (1993). — *Handbook of Hydrology*. pp. 7.20-7.21.
- [9] CARABELLI E. (1964). — *Esplorazione geofisica al Ghiacciaio del Caresèr*. Boll. Comit. Glac. It. ser. II, 61:68.
- [10] RICHTER E. (1891). — *Gesichte der Schwankungen des Alpengletscher*. Zeitschr. D. u. Öe. Alpenvereins, Wien.