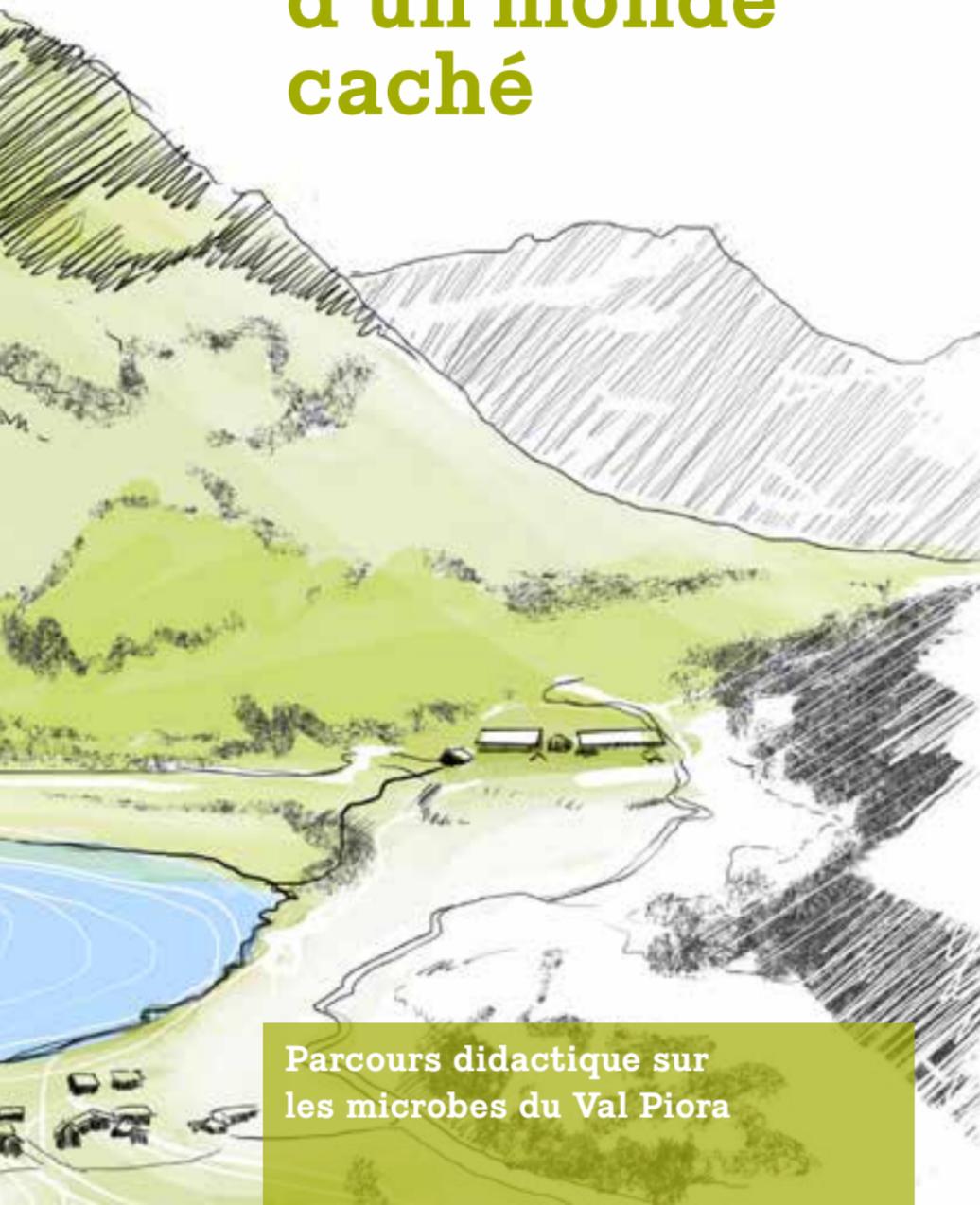


# A la découverte **d'un monde caché**



Parcours didactique sur  
les microbes du Val Piora

<b>1. Introduction</b>	
Un parcours didactique pour découvrir le monde des microbes	5
Comment voir les microbes?	6
La carte	7
Les experts	10
<b>2. Bienvenue à Piora!</b>	<b>13</b>
Le Val Piora	13
Le Centre de Biologie Alpine	15
Qu'est-ce qu'un microbe?	16
Les bactéries	16
Les champignons microscopiques	18
Les algues microscopiques	20
Les lichens	21
<b>3. Parcours didactique sur les microbes du Val Piora</b>	<b>25</b>
Le Centre de Biologie Alpine	25
Le Lac de Cadagno	25
Le bâtiment du laboratoire	28
La fromagerie	31
En partant du Centre de Biologie Alpine	32
Le Val Fripp	36
Cadagno di Dentro	39
Cadagno di Fuori	43
<b>4. Au revoir Piora!</b>	<b>47</b>
<b>5. Informations utiles</b>	<b>48</b>
<b>6. Références</b>	<b>49</b>

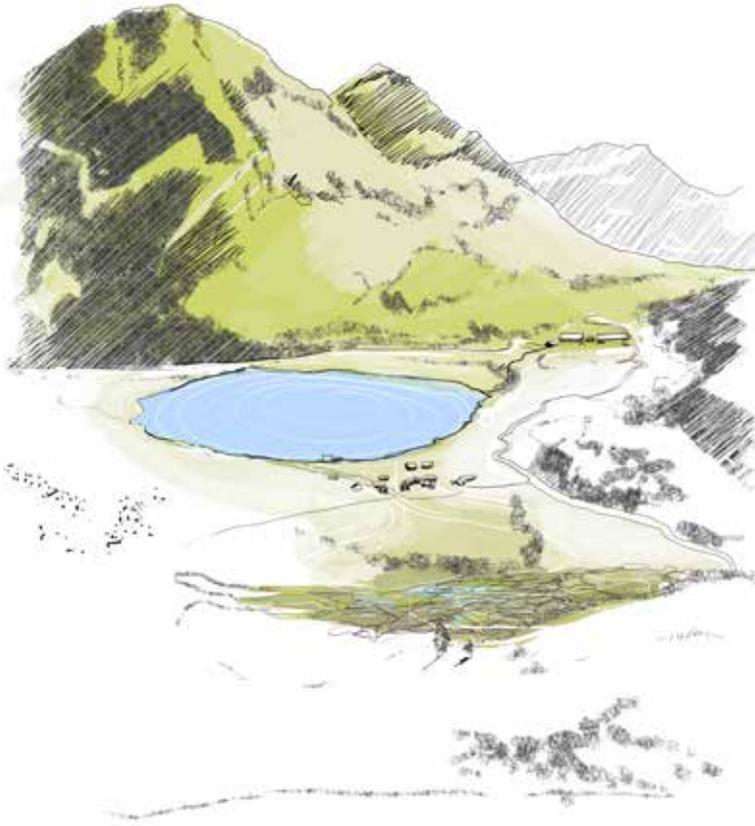
# 1. Introduction

## **Un parcours didactique pour découvrir le monde des microbes**

Le Val Piora est l'une des vallées les plus spectaculaires du Tessin, réputé pour sa riche biodiversité et ses nombreux lacs. Depuis plus de 200 ans, touristes et scientifiques s'y intéressent et viennent profiter de son cadre exceptionnel. Afin de préserver cette vallée, unique en son genre, il est important de connaître et de protéger les communautés qui y vivent, ainsi que l'environnement dans lequel elles évoluent. Au cœur de cet écosystème, se trouvent des organismes qui y jouent un rôle clé, mais qui sont méconnus car invisibles à l'œil nu: ces acteurs silencieux sont les microorganismes.

Les organismes microscopiques (microorganismes ou microbes) sont présents partout: dans l'eau, la terre, l'air mais aussi à l'intérieur ou sur la peau d'autres êtres vivants. Les microbes sont les premières formes de vie à s'être développées sur Terre, il y a environ 3,5 milliards d'années. Grâce à leur activité et à leurs effets sur les cycles biogéochimiques, ces organismes ont permis le développement de toutes les autres formes de vie. Ce sont les êtres vivants les plus diversifiés et les plus répandus sur Terre, plus que toutes les plantes et les animaux. S'ils n'existaient pas, la vie sur notre planète serait tout simplement impossible!

Ce parcours didactique a été créé pour permettre à tous de découvrir l'univers caché et méconnu des microbes dans le cadre exceptionnel du Val Piora.



## Comment voir les microbes?

Même si les microorganismes sont invisibles à l'œil nu, il est possible d'observer les effets de leur présence. Comme tout être vivant, un microbe utilise les nutriments et l'énergie présents dans l'environnement pour faire fonctionner son organisme. Ces activités produisent des traces qui sont parfois visibles et qui sont mises en évidence dans ce parcours.

Pour observer ces traces, il faut se montrer bien attentif. N'hésitez pas à explorer, à vous approcher des arbres, des rochers ou endroits où l'on peut les trouver, en faisant bien attention de ne pas piétiner l'espace naturel environnant. Il faut aussi savoir que des variabilités (couleur, emplacement...) peuvent apparaître en fonction des saisons et des conditions météorologiques.

Ce guide vous permet de découvrir certains microbes de la région de Piora à travers 4 étapes. Tout au long du parcours et grâce à cette brochure, vous serez guidés par trois scientifiques qui ont passé une partie de leur vie à étudier les microbes de la vallée. Ils parleront tout d'abord de la région de Piora et décriront les principaux groupes de microbes. Puis, dans le chapitre suivant, ils vous guideront le long du parcours et vous expliqueront quels sont les microorganismes présents, où les observer (sous quelle forme), leurs effets et leur importance, le tout enrichi d'anecdotes sur la région.

## La carte

Le parcours didactique peut être effectué dans le sens et l'ordre désiré. Il forme une boucle d'une longueur totale d'environ 5 km dont le point d'information central se situe au Centre de Biologie Alpine (laboratoires de recherche). Sur le terrain, des petits poteaux indicateurs signalent les zones d'observation dans lesquelles les microbes (ou les effets qu'ils produisent dans l'environnement) sont visibles. Sur chaque poteau se trouve une référence à un chapitre spécifique de cette brochure.



Illustration d'un poteau indicateur présent sur le parcours, utilisé comme référence pour chaque chapitre de la brochure.

**Durée des parcours à pied:**

Arrivée du Funiculaire  
Centre de Biologie Alpine  
**1h 30 min**

Centre de Biologie Alpine  
Val Fripp  
Cadagno di Dentro  
**20 min**

Cadagno di Dentro  
Cadagno di Fuori  
**20 min**

Centre de Biologie Alpine  
Cadagno di Fuori  
**20 min**

Boucle complète:  
**environ 1h**

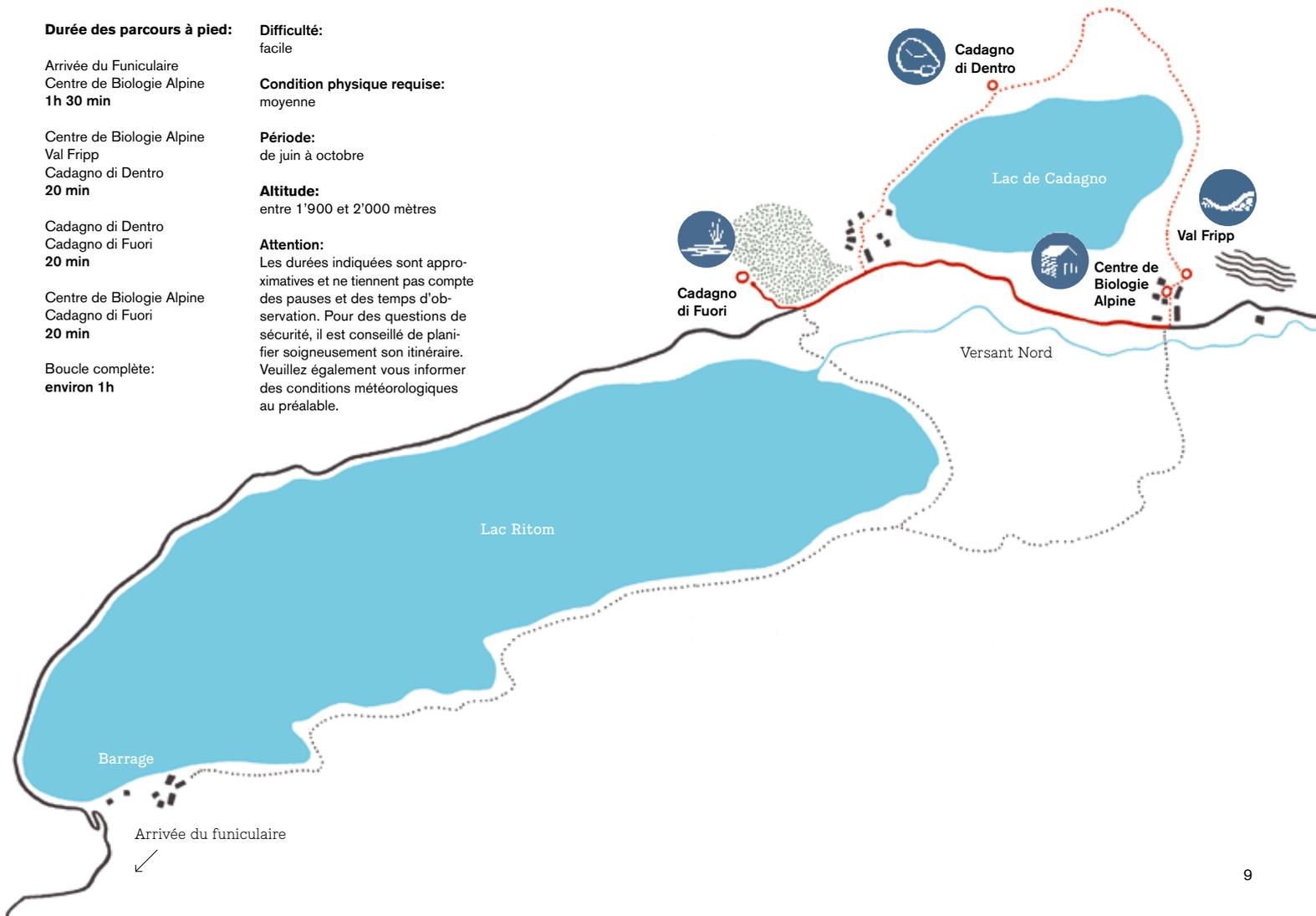
**Difficulté:**  
facile

**Condition physique requise:**  
moyenne

**Période:**  
de juin à octobre

**Altitude:**  
entre 1'900 et 2'000 mètres

**Attention:**  
Les durées indiquées sont approxi-  
matives et ne tiennent pas compte  
des pauses et des temps d'ob-  
servation. Pour des questions de sécu-  
rité, il est conseillé de plani-  
fier soigneusement son itinéraire.  
Veuillez également vous informer  
des conditions météorologiques  
au préalable.





### Les experts

**Raffaele Peduzzi, Prof. Dr. en Biologie et spécialiste FAMH en microbiologie médicale, Professeur d'hydrobiologie microbienne à l'Université de Genève**

**RP** Raffaele, originaire d'Airolo et citoyen d'honneur de la ville de Quinto (Tessin), est un grand expert des merveilles microbiologiques du Val Piora. Directeur de l'Institut cantonal de microbiologie pendant 30 ans et actuel président de la Fondation qui gère le "Centre de Biologie Alpine" (CBA), Raffaele est à l'origine même de la mise en place de ce Centre. Sa longue carrière universitaire l'a amené à publier plus de 400 articles scientifiques et à enseigner dans plusieurs Universités, telles que celles de Genève, Milan, Varese, Neuchâtel, l'Université de Suisse Italienne ainsi que deux Ecoles polytechniques (Lausanne et Zurich). Impliqué depuis

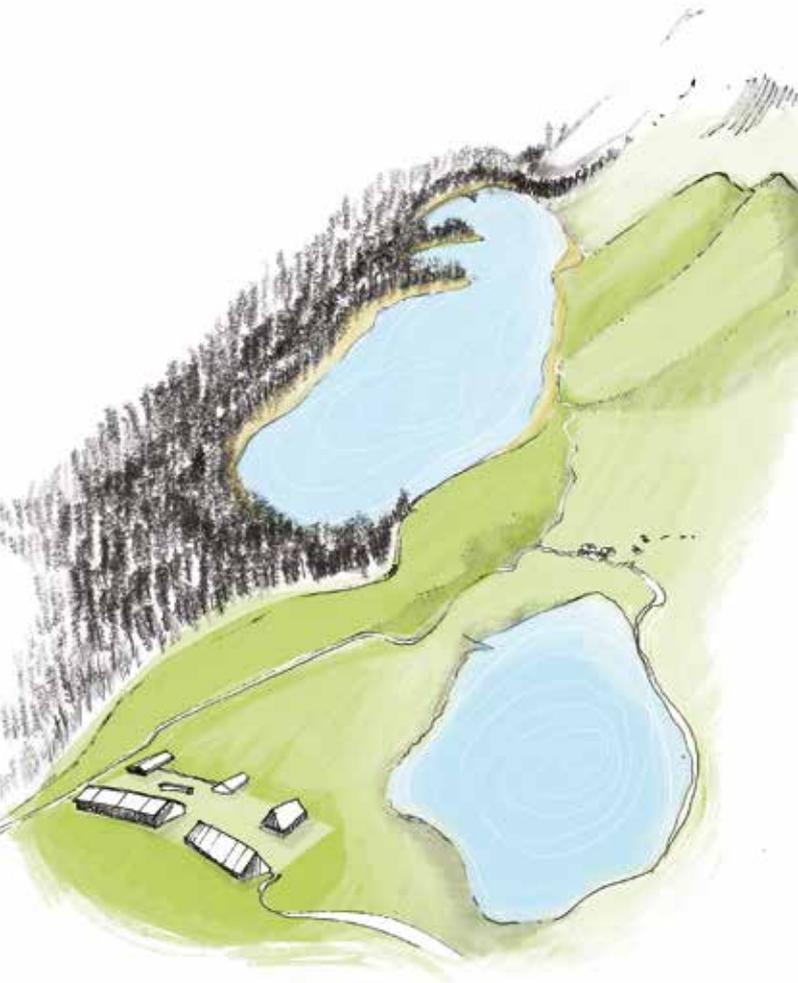
longtemps dans l'enseignement auprès des jeunes élèves, Raffaele possède également une formation d'enseignant pour les écoles primaires et secondaires.

**Mauro Tonolla, PD Dr. en Biologie, SUPSI et Université de Genève**

**MT** Biologiste passionné depuis toujours par l'écologie microbienne, Mauro a effectué une formation d'enseignant avant de faire une carrière académique au cours de laquelle il a publié plus de 100 articles scientifiques dans des revues internationales. Il est actuellement responsable du laboratoire de microbiologie de l'Ecole universitaire professionnelle de la Suisse italienne (SUPSI) et chargé de cours à l'Université de Genève. Expert dans le domaine de l'hydrobiologie microbienne, Mauro a consacré une grande partie de sa vie à l'étude de la biosécurité, de la bactériologie et microbiologie locales du Val Piora.

**Reinhard Bachofen, Prof. em. en Microbiologie, Université de Zurich**

**RB** Après avoir accompli une formation d'enseignant (école primaire et secondaire), Reinhard a obtenu son doctorat à l'Université de Zürich en effectuant un travail de limnologie (étude des lacs et des eaux lacustres) sur les lacs de Hallwil et Baldegg. Au cours d'un long séjour aux Etats-Unis, il a ensuite étudié la diversité métabolique des bactéries anaérobies et phototrophes, y compris celle des *Chromatium*. Des études successives sur le bilan énergétique des bactéries et des algues l'ont amené ensuite à nouveau vers l'écologie microbienne des milieux aquatiques et vers l'enseignement et la recherche au Centre de Biologie Alpine, sur le lac de Cadagno.



## 2. Bienvenue à Piora!

### Le Val Piora

**KP** Le Val Piora est l'une des plus belles régions alpines du Tessin! Il s'agit d'une ancienne vallée glaciaire (c'est à dire qu'elle était anciennement recouverte de glace) caractérisée par des conditions géologiques, climatiques et environnementales particulières, qui ont contribué au développement d'une biodiversité extraordinaire. La région est réputée pour sa richesse hydrologique grâce aux nombreux lacs, cours d'eau et tourbières présents dans la vallée. Ces zones humides sont précieuses, car elles offrent des conditions idéales pour la croissance d'un grand nombre d'espèces animales et végétales, mais aussi d'êtres vivants invisibles: je parle bien sûr des microorganismes!

Parmi les endroits les plus intéressants de la vallée, il y a quatre zones humides protégées au niveau fédéral ; il s'agit des tourbières de Cadagno (Cadagno di Dentro et Cadagno di Fuori), de Pinett-Ritom et de Passo dell'Uomo.

**MT** La venue de l'homme et la pratique de l'alpage ont contribué à imprégner le charme de la vallée. Les agriculteurs locaux produisent sur place le célèbre fromage de Piora et s'assurent d'entretenir les champs et les prairies, activité importante pour préserver la vallée et les paysages alpins tant appréciés de ceux qui visitent la région. Il est intéressant de souligner que le Val Piora est le plus grand alpage du Tessin, qu'il appartient à la corporation des Boggessi, une ancienne

communauté “bourgeoise”, et que seuls leurs descendants ont le droit d’y envoyer leur bétail.

**RP** D’un point de vue géographique, on peut se rendre compte de la richesse du territoire et de l’activité humaine dans la vallée en analysant le nombre de noms de lieux différents utilisés par les locaux: rien qu’à Piora, il y en a 280! En effet, un nom a été donné à chaque plateau, à chaque pâturage et même à certains rochers afin de faciliter l’identification des divers endroits. Cela nous permet de nous rendre compte à quel point cet environnement naturel représentait une ressource importante pour les populations locales.



Représentation des bâtiments du Centre de Biologie Alpine (A, B et C).

## Le Centre de Biologie Alpine

**RP** Le Centre de Biologie Alpine a été officiellement inauguré en 1994 et a pour mission de promouvoir l’enseignement universitaire et la recherche scientifique, mais aussi la communication avec le grand public. Il a été créé par le Canton du Tessin, en collaboration avec les Universités de Genève et de Zurich et la contribution plus récente de l’Université de Suisse Italienne et de l’Ecole Universitaire Professionnelle de Suisse Italienne. Ces collaborations ont permis d’installer, à 2’000 mètres d’altitude, des laboratoires qui accueillent chaque année des équipes de recherche de 12 universités différentes. La priorité est donnée aux cours universitaires, mais le Centre est aussi ouvert aux écoles et au public intéressé. De plus, nous organisons une fois par année une journée portes-ouvertes pour le grand public (voir informations en fin de brochure).

**RB** Une Fondation s’occupe de gérer et soutenir le Centre. Cette Fondation est composée de membres des institutions fondatrices, de membres de la Corporation des Boggesi de Piora et de la commune de Quinto.

Grâce au soutien du Canton, à une subvention de la Confédération et des Universités de Genève et de Zurich, les deux maisons d’alpage de l’époque – qui sont un témoignage historique du monde rural du XVIIe siècle – ont été restaurées en conservant l’architecture extérieure et en aménageant un espace intérieur moderne pour les activités scientifiques et éducatives.

**RP** Tous ne savent peut-être pas que d’importantes recherches scientifiques sont menées dans la vallée

depuis plus de 200 ans pour en étudier les richesses naturelles. Comme nous le verrons plus loin dans cette brochure, ces études ont porté essentiellement sur le Lac de Cadagno et c'est cela qui a donné l'impulsion pour la création du Centre, destiné à recevoir des chercheurs de divers instituts académiques.

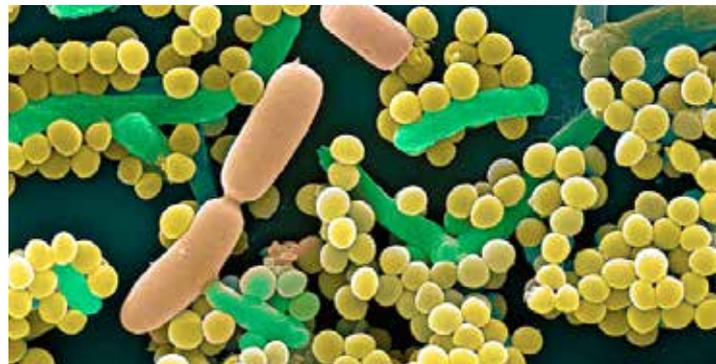
### Qu'est-ce qu'un microbe?

**MT** En général, on définit comme étant un microorganisme tout être vivant qui ne peut être observé qu'à l'aide d'un microscope. Et pour cause, ils sont 100 à 10'000 fois plus petits qu'un grain de sable! Pour se faire une idée de leur dimension, il faut imaginer qu'il y a le même rapport de grandeur entre un microorganisme et un homme qu'entre un homme et la planète Terre. Vous avez sans doute déjà entendu parler des microbes responsables de diverses maladies, qu'on appelle des pathogènes, mais en réalité ils représentent une très petite fraction du nombre total de microorganismes existants.

Avant de commencer notre petite aventure, nous allons introduire quelques groupes de microbes qu'il sera possible de découvrir le long du parcours didactique.

#### Les bactéries

**RB** Les bactéries sont des organismes vivants unicellulaires, c'est-à-dire constitués d'une seule cellule qui mesure à peine quelques micromètres et qui peut avoir plusieurs formes: arrondie dans le cas des coques, allongée dans le cas des bâtonnets et des bacilles, ou encore spiralée dans le cas des spirochètes. On les trouve partout et certaines espèces peuvent même survivre à des conditions extrêmes, comme



Bactéries grossies 4'500 fois au microscope électronique (colorées artificiellement).

par exemple des milieux dont la température dépasse 80°C ou des milieux très acides.

Les animaux et les êtres humains sont eux-mêmes colonisés par les bactéries, que ce soit au niveau de la peau ou à l'intérieur du corps, surtout dans l'intestin. Cette flore, appelée microbiote intestinal, joue un rôle fondamental dans notre métabolisme pour la synthèse de certaines vitamines ainsi que pour notre protection, en participant au développement du système immunitaire.

**RB** Certaines bactéries sont également très utiles pour la production d'aliments comme le fromage, le yaourt, la choucroute ou le vinaigre. Il est important de souligner que dans l'environnement les bactéries jouent un rôle clé dans les cycles de la matière, en produisant des substances qui sont par la suite utilisées par d'autres organismes. C'est le cas par exemple de l'oxygène pour les animaux ou de l'azote pour les plantes. Sans oublier également le rôle capital des

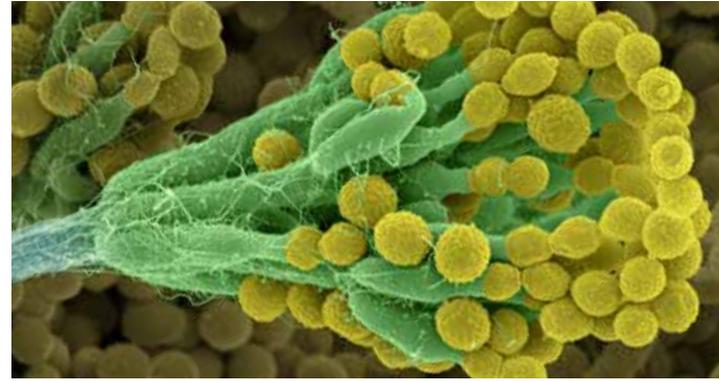
bactéries dans le recyclage des produits de décomposition du sol. Toutes ces activités sont au cœur de l'équilibre de toute la biosphère.

**MT** Il existe même des bactéries, appelées cyanobactéries, qui sont capables d'utiliser l'énergie du soleil pour leur métabolisme, tout comme les plantes!

### Les champignons microscopiques

**RP** Le groupe des champignons microscopiques comprend différentes formes de microorganismes, comme par exemple les moisissures ou les levures. Jusqu'à récemment les champignons étaient placés par la communauté scientifique dans le règne végétal. Ils sont maintenant considérés comme un groupe indépendant, plus proche des animaux que des végétaux! Les champignons microscopiques se nourrissent en assimilant les éléments qu'ils trouvent dans leur environnement ou encore en dégradant la matière morte, jouant ainsi un rôle fondamental de décomposeurs dans les divers écosystèmes. Pour se reproduire certains champignons produisent une grande quantité de spores minuscules qui sont généralement transportées par le vent, leur permettant ainsi de se disséminer.

**MT** Tout comme les bactéries, on trouve des champignons microscopiques dans tous les environnements, terrestres, aquatiques et même à l'intérieur de l'organisme humain comme par exemple dans la bouche, l'appareil digestif ou sur la peau. Certaines espèces sont pathogènes et d'autres, au contraire, sont d'une grande utilité pour l'être humain. Par exemple la moisissure appelée *Penicillium* produit le premier antibiotique à avoir été découvert, la pénicilline. Quant à



La moisissure *Penicillium notatum* grossie 600 fois au microscope électronique (colorée artificiellement).

(Copyright Dennis Kunkel Microscopy, Inc.)

certaines moisissures, on les retrouve sur notre table, car elles participent à la production de fromages comme le Roquefort ou le Camembert, tandis que d'autres sont indispensables pour produire la bière ou le pain... De véritables stars de la cuisine!

**RP** Les champignons jouent également un rôle très important dans la nature et dans l'environnement alpin, où la grande majorité des plantes vit en symbiose avec des champignons particuliers, au niveau des racines. On appelle cette association une mycorhize. Dans ce cas, l'interaction avec les racines améliore l'ancrage des plantes dans le sol et augmente leur capacité à récupérer des nutriments en agrandissant la surface d'échange.

## Les algues microscopiques

**RB** Les algues sont des végétaux qui vivent principalement dans les environnements aquatiques. Elles ont la capacité de produire de la matière organique à partir de l'énergie solaire, grâce à la photosynthèse. Il s'agit de la même photosynthèse que celle réalisée par les plantes, qui amène l'oxygène dans l'atmosphère et contribue à la production de la matière organique utilisée par les organismes vivants. Les micro-algues sont présentes partout: dans les océans, les lacs, les étangs, mais aussi dans les endroits humides comme les craquelures des troncs d'arbres, le sol et les fissures des pierres. Ces organismes végétaux microscopiques constituent une



*Cyclotella radiosa*, une diatomée (famille d'algues microscopiques), grossie 3'000 fois au microscope électronique (colorée artificiellement).

partie du phytoplancton des océans, qui se trouve à la base de la chaîne alimentaire.

**RP** Dans les pays en voie de développement, les micro-algues sont utilisées comme compléments alimentaires pour lutter contre la malnutrition, tandis que dans les pays industrialisés on les utilise pour la production de molécules thérapeutiques, de cosmétiques, de biocarburants ou encore pour le traitement des eaux usées. Certaines micro-algues sont extrêmement sensibles aux agents polluants et sont donc utilisées comme indicateurs biologiques.

## Les lichens

**RP** Les lichens sont le résultat d'une symbiose entre des champignons et des organismes photosynthétiques. Ces derniers sont généralement des algues vertes microscopiques (dans 85 à 90% des cas), plus rarement des cyanobactéries. Dans cette symbiose, l'activité de chaque partenaire apporte un avantage à l'autre: le champignon est responsable de l'ancrage au substrat, il offre une charpente, un environnement humide et protégé pour l'algue et il prélève dans le milieu l'eau et les sels minéraux nécessaires; l'algue, de son côté, fournit des nutriments en réalisant la photosynthèse.

La partie visible du lichen est formée par le champignon, qui peut avoir différentes structures. Selon la forme, on distingue principalement les lichens incrustants (ou crustacés), foliacés et fruticuleux. Les algues, qui se trouvent sous la surface du champignon peuvent être observées, grâce à leur couleur verdâtre due à la chlorophylle, en coupant le lichen ou lorsque celui-ci est mouillé. Certaines algues forment de

grandes quantités d'un pigment appelé caroténoïde, qui donne au lichen une couleur caractéristique jaune-orange.

Les lichens peuvent pousser partout et sont capables de résister à des conditions extrêmes! Il s'agit souvent d'espèces pionnières qui colonisent les nouveaux substrats comme les pierres et les zones libérées des glaciers. Ils peuvent parfois vivre des centaines d'années!

**RB** Sur les roches exposées au soleil ou sur les murs secs, le métabolisme des lichens est réduit au minimum à cause de l'absence d'eau, indispensable à la vie. Les plantes supérieures seraient desséchées et mortes depuis longtemps dans ces conditions! Quand



Le lichen *Xanthoria elegans*.

il pleut les lichens absorbent l'eau et les algues qui se trouvent dans le lichen se régénèrent en quelques minutes et reprennent une activité photosynthétique. Comme le tissu constitué par le champignon peut absorber seulement une quantité limitée d'eau, le lichen sèche vite de nouveau au soleil. Cela explique la croissance lente de ces organismes, qui se limite souvent à quelques fractions de millimètres par année.

**RP** Depuis environ 30 ans on sait que les lichens peuvent servir de bio-indicateurs. Ils sont en effet très sensibles aux substances polluantes présentes dans l'air. D'innombrables études ont été menées à ce sujet, notamment dans les zones urbaines polluées par les gaz des pots d'échappement.



### 3. Parcours didactique sur les microbes du Val Piora

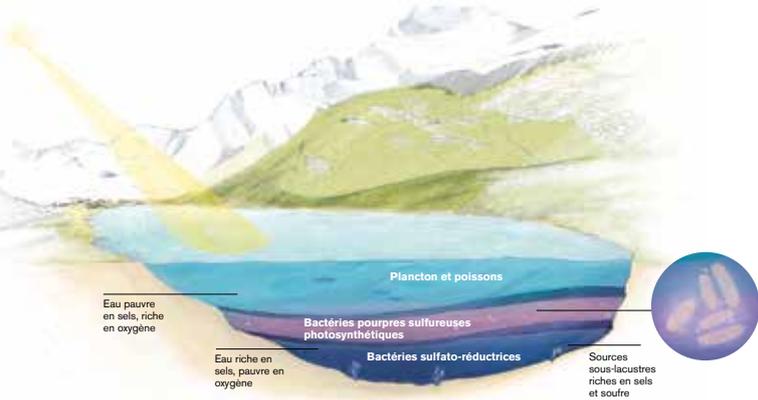
Le Centre de Biologie Alpine



Le Lac de Cadagno

**RP** En plus de contribuer à rendre le paysage de Piora magnifique, le Lac de Cadagno est connu depuis longtemps pour être un point d'intérêt majeur pour la recherche microbiologique nationale et internationale.

**MT** Pour comprendre à quel point le Lac de Cadagno est important, il faut d'abord comprendre le rôle des bactéries dans l'environnement. La Terre, qui s'est formée il y a 4,5 milliards d'années, a pendant longtemps été dépourvue d'oxygène. Il y a 3 à 3,5 milliards d'années, sont apparus les premiers organismes capables de faire la photosynthèse, appelés cyanobactéries. Ces microorganismes transforment l'énergie lumineuse en matière organique et produisent de l'oxygène au cours de cette réaction. Grâce à l'activité des cyanobactéries photosynthétiques, l'oxygène a commencé à s'accumuler dans l'atmosphère il y a environ 2 milliards d'années. Cela signifie que pendant une très longue période les seuls organismes capables de croître dans des conditions pauvres en oxygène étaient les microorganismes. En conséquence, la très grande majorité de la biodiversité actuelle, soit environ 99,5%, est représentée par les microorganismes.



Le Lac de Cadagno est un exemple rare d'un phénomène naturel appelé "méromixie crénogénique", dans lequel deux couches d'eau distinctes se retrouvent superposées mais sans jamais se mélanger. La couche inférieure est composée d'eau qui provient de sources présentes sous le lac: cette eau étant passée à travers les roches dolomitiques, elle est enrichie en sels. Cet enrichissement a pour conséquence de rendre l'eau plus dense, c'est pour cela qu'elle forme une couche au fond du lac. Etant donné que cette eau reste en profondeur elle n'entre jamais en contact avec la surface: elle est donc anoxique, c'est-à-dire privée d'oxygène. Quant à la couche supérieure du lac, elle est alimentée par des sources d'eau près de la surface provenant de roches granitiques: elle est pauvre en sels minéraux dissous. C'est cela qui rend cette eau plus "légère" et

lui permet de former la couche supérieure du lac, qui reste en contact avec la surface et est donc oxygénée. A cause de cette stratification particulière, étudier une section verticale du lac c'est comme «lire» l'évolution de la Terre en partant du bas vers le haut, car on y retrouve à la fois les organismes qui ont un métabolisme anaérobie (qui n'utilisent pas d'oxygène) et ceux qui ont un métabolisme aérobie (qui utilisent l'oxygène). Le Lac de Cadagno représente donc un modèle avec lequel on peut comprendre l'évolution de notre planète, ce qui explique son intérêt et son importance.

**RP** Le premier chercheur à avoir décrit le Lac de Cadagno est Bourcart Felix-Ernest en 1906, en écrivant mot pour mot "il serait fort intéressant de faire des études approfondies sur ce lac si curieux". Il avait, en effet, prélevé des échantillons du fond du lac et avait constaté une coloration foncée et l'odeur persistante de soufre. Il avait aussi déjà remarqué que les eaux en profondeur présentaient des caractéristiques radicalement différentes que celles de l'eau à la surface! Cela a fait l'objet d'une thèse, menée entre 1903 et 1906 et publiée à Genève, dans laquelle il espérait déjà un approfondissement du sujet.

**MT** La recherche souhaitée par Bourcart s'est concrétisée avec un intérêt particulier porté sur une bactérie appelée *Chromatium okenii*. Il s'agit d'une bactérie photosynthétique qui trouve les conditions idéales pour sa croissance dans une zone située à la limite entre les deux couches du lac, dans la région anoxique. Cette bande se situe normalement entre 11 et 13 m de profondeur et son épaisseur varie entre 70 et 150 cm selon la période de l'année. En prélevant un échantillon d'eau à cette profondeur on peut observer

une coloration pourpre! Ce phénomène est dû aux pigments présents à l'intérieur des bactéries. Il est aussi intéressant de souligner le rôle «écologique» de cette population bactérienne: en créant une couche homogène au-dessus de la couche anoxique elle empêche la diffusion d'un produit chimique toxique, le sulfure d'hydrogène, dans la couche supérieure et donc dans l'environnement. Cela semble incroyable, mais *Chromatium okenii* se nourrit des sulfures d'hydrogène et les détruit en les métabolisant!

**RP** Si vous observez la surface du lac vous pouvez observer une plateforme ancrée dans la zone centrale. Les chercheurs qui viennent au Centre de Biologie Alpine se servent de cette plateforme pour faire des prélèvements d'eau pour leurs recherches.

### Le bâtiment du laboratoire

**RP** Sur les parois externes du laboratoire, on peut observer facilement le lichen *Xanthoria elegans*, communément connu sous le nom de lichen "élégant", dont la couleur rouge-orange est bien visible.

*Xanthoria* se développe particulièrement sur les roches calcaires et silicatées, en particulier dans les zones colonisées par des oiseaux. En effet, il s'agit d'une espèce qui a besoin d'azote pour se développer, un élément qu'on retrouve en abondance dans les excréments d'oiseau.

Sa couleur rouge-orange est due à la présence, dans les algues du lichen, d'un pigment appelé caroténoïde, le même que celui des carottes et des tomates. Ce pigment aide à l'absorption de la lumière pour la photosynthèse et offre une protection à l'organisme contre les UV.



Le lichen *Xanthoria elegans* sur les murs des bâtiments du Centre de Biologie Alpine.

A cause de sa couleur, *Xanthoria elegans* fait un peu penser à la rouille. Un jour, l'entreprise de nettoyage engagée pendant les travaux de restauration du Centre m'a téléphoné pour me dire qu'ils allaient nettoyer tout le mur! Heureusement, j'ai pu les arrêter à temps.

**RB** Il y a aussi d'autres microorganismes qui peuvent être observés aux alentours du Centre. Par exemple, *Haematococcus pluvialis* est visible dans les abreuvoirs en bois près des bâtiments et sa présence saute tout de suite aux yeux à cause de sa couleur rouge intense. Il s'agit d'une algue dont la couleur particulière est liée à la présence importante d'un pigment appelé astaxanthine. Son apparition est liée à divers facteurs qui varient, de la quantité de lumière

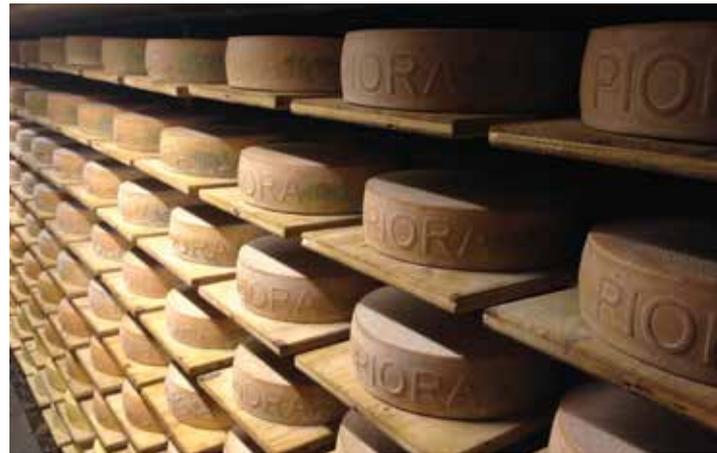


Développement massif de l'algue rouge microscopique *Haematococcus pluvialis* après la pluie.

à la présence de certains nutriments jusqu'aux conditions atmosphériques. En général on peut l'observer suite aux journées de pluie, d'où son nom évocateur de "pluie sanglante". Il est intéressant de remarquer que ce microorganisme est cultivé industriellement à grande échelle pour isoler son pigment rouge, utilisé pour faire des produits pharmaceutiques antioxydants.

## La fromagerie

**MT** En se promenant aux alentours du Centre, il est difficile de ne pas voir la fromagerie où est produit le célèbre fromage d'alpage local, le "Piora". Tous les étés, 250 vaches sont amenées ici pour paître dans plus de 1'000 hectares de pâturage. Grâce à leur lait, on produit en moyenne 3'000 meules d'un fromage qui se caractérise par un goût délicieusement parfumé. Ce phénomène est dû à la présence dans les prés de diverses herbes aromatiques; en les mangeant, les vaches transmettent à leur lait ces propriétés gustatives. Parmi ces herbes on peut citer la "mutarina" (*Ligusticum mutellina*), la Crépide dorée (*Crepis aurea*) et divers types de trèfle alpin (*Trifolium alpinum*).



Meules du fameux fromage de Piora. Chaque année environ 3'000 pièces sont produites dans la Vallée.

**RP** Bien sûr “l’herbe à beurre”, la “mutarina”, et les herbes aromatiques sont importantes, mais tous ne savent peut-être pas à quel point les microorganismes sont essentiels pour la production du fromage! Certains des “participants” les plus connus de ce processus sont *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus helveticus*. Leur action est particulièrement évidente dans la toute première phase du passage du lait au fromage, soit dans la fermentation qui amène à l’acidification du lait. Dans les fromages produits à partir de lait cru (comme dans le cas de notre “Piora”), ce sont les bactéries qui proviennent de la vache même qui provoquent la fermentation. En revanche si le lait est pasteurisé (processus qui enlève la majorité des microorganismes présents), il faut ajouter artificiellement des bactéries lactiques qui assurent la fermentation.

### En partant du Centre de Biologie Alpine

**MT** En partant vers les autres points d’observation du parcours, regardez bien le long des chemins, afin de repérer des petits regroupements de fleurs jaunes. Sur ces plantes, appelées *Euphorbia cyparissias*, on peut observer une autre manifestation microbiologique très intéressante, sous forme de petits points noirs sous les feuilles. Il s’agit des spores d’un champignon microscopique capable de coloniser la plante sans la tuer. Garder la plante en vie confère des avantages à ce champignon parasite. En effet, en restant en vie, la plante permet au parasite de proliférer et lui donne ainsi tout le temps nécessaire pour coloniser d’autres plantes.

**RP** Le champignon en question s’appelle *Uromyces pisi* et en observant attentivement on peut voir la différence entre les *Euphorbia cyparissias* non-parasitées et les plantes parasitées. En fait, dans le premier cas on a des plantes fertiles qui ont développé une fleur, alors que les plantes parasitées ne présentent pas de fleurs et la tige est deux à trois fois plus longue. Ces différences sont provoquées par le champignon qui empêche la dégradation de l’hormone de croissance de la plante. Celle-ci continue donc de pousser, elle ne va plus se dédier au développement de la fleur et devient donc stérile. Cet exemple permet de mettre en évidence la différence fondamentale, en biologie, entre développement et croissance.

En termes d’évolution, *Uromyces* a très probablement maintenu la capacité de provoquer l’allongement de la tige, car cela lui donnait un avantage d’être sur une plante plus haute que les autres. En fait, en ayant une position plus élevée, ses spores vont être plus facilement disséminées par les divers facteurs environnementaux (vent, animaux, etc.).

**RB** Pour étudier l’effet de ce parasite, en utilisant une technique qui mesure l’activité biologique des plantes (mesure de la fluorescence), nous pouvons montrer que chez les plantes saines toutes les feuilles, du bas vers le haut, ont une activité photosynthétique régulière et élevée. Chez les plantes infectées seulement les jeunes feuilles de la partie supérieure sont actives, tandis que les feuilles âgées en bas sont endommagées.

**MT** Il est important de préciser que la plupart des microorganismes n’a pas une activité néfaste pour l’environnement et l’être humain! Au contraire leur



Spores du champignon parasite  
*Uromyces pisi* sous les feuilles d'une plante  
d'*Euphorbia cyparissias*.

présence est essentielle pour garantir l'équilibre des écosystèmes.

**RP** Exactement! D'ailleurs on peut en donner un exemple ici. Depuis le Centre de Biologie Alpine, si on descend en direction du marais Cadagno di Fuori, on peut observer une colline qui borde la rive gauche de la rivière Murinascia. Ce versant Nord de la colline est un terrain extrêmement pauvre en azote, un élément chimique essentiel à tout être vivant. Pour les plantes, le seul moyen de se procurer de l'azote est de l'absorber par les racines. Cette limitation est à l'origine d'un bel exemple de symbiose entre les plantes de cette colline et des bactéries capables de fixer l'azote atmosphérique.

Cette capacité est importante car l'azote est inutilisable dans sa forme originale, mais sa fixation (c'est-à-

dire sa transformation en un composé biologiquement accessible) le rend disponible pour les besoins vitaux de la plante.

Une de ces bactéries s'appelle *Frankia alni*, très abondante sur le versant Nord. Ce microorganisme peut coloniser les racines des jeunes aulnes, en provoquant la formation de structures globulaires. A l'intérieur de ces petites sphères, *Frankia* crée un environnement idéal pour sa croissance et sa multiplication, sans que la plante ne soit dérangée par cette colonisation, au contraire! La présence de *Frankia* sur les racines permet justement cette fixation de l'azote atmosphérique, qui une fois fixé est assimilé et utilisé par la plante. Il est donc facile de comprendre pourquoi elle permet cette petite "invasion", car elle en tire un vrai avantage.

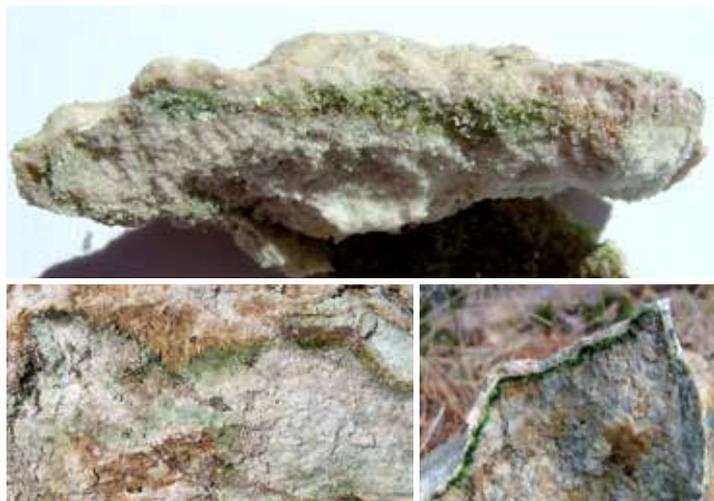


Nodules (petites sphères de couleur claire)  
formés par des bactéries fixatrices d'azote sur  
les racines des jeunes aulnes.



**RB** Au nord des bâtiments du Centre de Biologie Alpine, lorsque l'on se dirige vers Cadagno di Dentro, on peut observer sur la droite un petit vallon en forme de U, le Val Fripp, qui correspond à l'ancien lit de la rivière Murinascia. Sur les versants pentus on peut voir des rochers de couleur claire affleurant la surface. Cette roche, qui se caractérise par une composition poreuse (une structure similaire à celle des éponges) s'appelle la dolomie et sa structure permet le développement d'un autre exemple intéressant de la microbiologie locale. Il s'agit de bactéries endolithiques, des microorganismes unicellulaires capables de se développer à quelques millimètres sous la surface de la roche, à l'intérieur des porosités de la dolomie. Ces bactéries particulières, comme par exemple *Leptolyngbya*, *Nostoc* et *Gloeobacter*, obtiennent leurs nutriments grâce à leur capacité à réaliser la photosynthèse (ce sont en effet des cyanobactéries) et à l'eau qui pénètre dans les microcavités de la roche. Ce sont aussi ces microcavités qui permettent à la lumière du soleil de pénétrer à quelques millimètres sous la surface et qui rendent donc la photosynthèse possible. Les substances produites par ces organismes photosynthétiques servent de base alimentaire pour de nombreux autres types de bactéries qui se trouvent également sous la roche.

La localisation de ces organismes démontre leur capacité à trouver les conditions «parfaites» pour leur multiplication. S'ils étaient juste quelques millimètres plus en profondeur, la lumière du soleil ne leur parviendrait pas, rendant ainsi la photosynthèse impossible. S'ils étaient au contraire complètement exposés



Trois exemples de communautés endolithiques; une découpe de la surface de la roche permet d'observer une couche verte caractéristique.

aux rayons solaires à la surface, la quantité de rayons solaires et les hautes températures causeraient un dessèchement de l'environnement ce qui empêcherait leur croissance. D'ailleurs, pour survivre dans la roche, ces cyanobactéries sécrètent autour d'elles une matière gélatineuse sucrée (qu'on appelle des "exopolysaccharides") qui leur permet de maintenir l'eau et les nutriments dans leur environnement.

Pour pouvoir observer directement ces microorganismes, il faut gratter légèrement la surface de la dolomie qui est très friable, ce qui révèle tout de suite une couche verte caractéristique. Cette couleur est due aux cyanobactéries, qui contiennent des pigments

verts comme la chlorophylle. De plus, des algues vertes microscopiques peuvent également être présentes, ainsi que d'autres organismes unicellulaires, créant un véritable petit monde vivant autonome.

On peut toutefois observer la présence d'autres cyanobactéries sans racler la roche, comme par exemple les espèces qui vivent en surface et qui secrètent des substances composées de pigments noirs. Ces substances agissent comme un "écran solaire" et ont comme conséquence de former des couches foncées visibles à la surface de la pierre habituellement claire.

**RP** La roche et la neige, sont des écosystèmes particulièrement intéressants pour étudier les microorganismes qui vivent dans des conditions limites. Par exemple, les roches qui constituent l'habitat des microorganismes endolithiques peuvent atteindre des températures proches de 50°C pendant la journée et



Coloration verte due aux cyanobactéries et aux algues microscopiques présentes sous la surface de la roche.

de 0°C la nuit. Beaucoup d'autres microorganismes ne parviendraient pas à survivre dans ces mêmes conditions, c'est pourquoi ils sont classés parmi les organismes "aimant les conditions extrêmes", qu'on appelle les extrémophiles!

## Cadagno di Dentro



**RP** Dans le passé, il y avait plusieurs constructions sur le territoire où l'on mettait le foin fauché qui était conservé comme fourrage pour les animaux. Je me souviens qu'à l'époque, en hiver, le foin était acheminé dans la vallée (Altanca) avec des luges, en passant sur le lac Ritom gelé! Désormais il ne reste plus que trois de ces maisons, tandis qu'avant 1951 il y en avait environ une vingtaine. La raison de cette importante réduction est liée à l'extraordinaire hiver de 1951: à cause de grosses chutes de neige, de nom-



Maison d'alpage de Cadagno di Dentro recouverte de lichens.

breuses avalanches ont eu lieu et ont détruit les bâtiments en question.

Récemment, dans une de ces maisons, on a retrouvé un filet de pêche et une lance, appelée "froschna". Cela nous prouve que les habitants de la région avaient compris il y a longtemps déjà l'importance du poisson dans leur alimentation, chose rare pour des habitants de la montagne!

**MT** Sur les grandes pierres dans les alentours et sur les toits des constructions encore présentes, on peut observer *Rhizocarpon geographicum*, un lichen qui forme des croûtes jaunes-verdâtres. D'un point de vue étymologique, le terme *geographicum* fait ré-



Le lichen *Rhizocarpon geographicum*.

férence à l'aspect du lichen qui rappelle les cartes géographiques anciennes. La partie noire visible sur le bord du thalle (le corps principal et végétatif du lichen) prend le nom de prothalle ; il s'agit en fait du champignon qui pousse, tout d'abord seul, à la conquête de nouveaux territoires. L'algue symbiotique le "rejoint" ensuite dès que la structure est prête à l'accueillir. Il est important de se rappeler que c'est l'algue qui est responsable de la coloration verte du thalle.

**RP** Mais quand ce village a-t-il été construit? Grâce aux lichens qui colonisent les toits, en particulier *Rhizocarpon geographicum*, il est possible d'effectuer une datation approximative au moyen d'une

méthode de mesure qui s'appelle cela la lichénométrie! Après environ 25 ans, le diamètre des colonies commence à augmenter de façon linéaire. La vitesse de croissance dépend des conditions locales. Elles ne sont pas connues avec précision à Piora, mais le taux de croissance ne devrait pas se situer loin d'un quart de millimètre par année. Si on observe un lichen d'un diamètre maximal d'environ 2.5 cm, cela correspondrait donc à un âge d'environ 100 ans. On peut facilement observer des colonies de cette taille sur les rochers près des maisons dans la zone d'éboulement. Sur les toits des maisons, le diamètre des lichens ne peut plus être mesuré: en effet, les colonies se touchent et se superposent, ce qui signifie, vue la taille visible, que leur croissance a commencé bien avant le milieu du XIXème siècle!



Le marais Cadagno di Fuori est une zone protégée au niveau fédéral. De magnifiques couleurs sont visibles, dont certaines sont dues à l'activité des microorganismes.

## Cadagno di Fuori



**MT** La tourbière à l'Ouest du petit village de Cadagno est un exemple fantastique de la façon dont la colonisation bactérienne peut se produire dans des conditions extrêmes, telles que celles que l'on trouve dans cette zone humide. Dans cet environnement particulier, la présence de sources d'eau riche en sulfates et la matière organique de la tourbière favorisent le développement de tapis bactériens stratifiés, dans lesquels plusieurs populations de microorganismes se superposent. C'est un phénomène semblable à celui du Lac de Cadagno, bien qu'à une plus petite échelle.



Coupe d'un tapis bactérien qui contient différentes couches de microorganismes, dont des diatomées (algues microscopiques), des cyanobactéries pourpres et des bactéries sulfato-réductrices.

Dans ces tapis bactériens, on peut observer une couche supérieure jaune-marron composée de microorganismes particuliers: les diatomées. Celles-ci font partie du groupe des algues et sont caractérisées par des microstructures cellulaires fascinantes, qui font penser à des cristaux élaborés. Leur couleur marron caractéristique est liée à la présence de caroténoïdes: il s'agit d'un pigment utilisé par ces microorganismes pour se protéger d'un excès de radiations lumineuses. Juste en dessous des diatomées, on trouve d'abord une couche de cyanobactéries vertes et ensuite une couche de bactéries pourpres, des bactéries capables de réaliser la photosynthèse avec la lumière du soleil. Grâce à des instruments de mesure spécialisés, il est possible de mesurer le taux d'oxygène présent dans les différentes couches et donc de relever l'activité de photosynthèse des microorganismes présents. Dans certains cas, ces bactéries photosynthétiques pourpres peuvent s'observer directement à la surface sous forme de couche

pourpre homogène. En continuant vers le bas, la dernière couche du tapis bactérien est constituée de bactéries sulfato-réductrices. Ces dernières exploitent la haute concentration en sulfates pour leur métabolisme et produisent des sulfures comme produit final. Les sulfures remontent par la suite vers la surface et, lorsqu'ils entrent en contact avec l'air, se transforment en soufre solide, qui est visible sous la forme de dépôts blanchâtres et jaunâtres.

**RB** On peut voir aussi des bulles qui remontent à la surface de temps en temps en émettant une forte odeur. Il s'agit de bulles de méthane produites par des microorganismes appelés méthanogènes. Ces organismes se trouvent fréquemment dans les sédiments et terrains où il y a une décomposition organique. Il est intéressant de remarquer que ces microorganismes sont aussi présents dans les systèmes digestifs des ruminants: c'est grâce à eux que les vaches peuvent digérer la matière végétale!

**RB** À la surface de l'eau, on peut aussi observer des taches "huileuses" composées de la bactérie *Nevskia ramosa*. Elle se présente sous cette forme, car elle a la capacité de former des communautés hydrophobes (c'est-à-dire qu'elles sont incapables de se mélanger à l'eau) en forme de rosette à l'interface entre l'air et l'eau. Pour pouvoir se reproduire, *Nevskia* a besoin de substances azotées qui ne sont pas présentes dans l'eau de la tourbière. Elle reste donc à la surface pour pouvoir les capter dans l'air. Ce faisant, elle s'expose drastiquement aux rayons UV, qui peuvent endommager l'ADN et donc provoquer sa mort. Toutefois, *Nevskia ramosa* dispose d'un système particulier de réparation de l'ADN, qui lui permet de s'exposer aux

rayons UV pendant de longues périodes sans mettre en danger son existence. Tout comme les bactéries endolithiques, dont on a parlé précédemment, il s'agit d'un microorganisme capable de vivre dans des conditions extrêmes (surexposition aux rayons UV), on le classe donc également parmi les extrémophiles!



Pellicule de surface "huileuse" formée par des colonies de la bactérie *Nevskia ramosa* à la surface de l'eau.

## 4. Au revoir Piora!

**RP** Nous voilà parvenus à la fin de notre petite aventure! Comme vous l'aurez peut-être remarqué vous-même, le monde des microbes est présent tout autour de nous et il n'y a pas besoin d'utiliser des microscopes ou d'autres instruments de laboratoire pour en découvrir les traces. Il suffit d'ouvrir les yeux pour comprendre à quel point la présence des bactéries, lichens et autres microorganismes est indispensable pour permettre l'existence et le développement des magnifiques paysages du Val Piora.

**RB** De nombreuses découvertes nous attendent encore, qui nous permettront d'identifier de nouvelles espèces et de mieux comprendre la relation entre environnement et microorganismes. Nous avons seulement commencé à gratter la surface d'un monde caché! Ce travail sera réalisé plus facilement si les futures générations développent un plus grand intérêt pour le monde des microbes et la nature qui les entoure.

**MT** Nous espérons vivement vous revoir dans cette belle vallée et n'oubliez pas que dans ce monde caché, d'incroyables découvertes attendent ceux qui savent où regarder!

## 5. Informations utiles

### **Accès à la vallée, horaires et prix du funiculaire, activités dans la région:**

Funicolare Ritom SA  
T +41 (0)91 868 31 51  
info@ritom.ch  
www.ritom.ch

### **Activités du Centre de Biologie Alpine de la Fondation Piora, lien pour télécharger la brochure, dates des Journées portes ouvertes pour le public, informations générales:**

Fondazione Centro  
Biologia Alpina  
www.cadagno.ch

### **Informations et activités pour les enseignants, lien pour télécharger la brochure du parcours:**

www.bioutils.ch/ticino

Important: veuillez noter qu'il n'y a plus de réseau pour les téléphones mobiles à partir du barrage du Lac Ritom.

### **Refuges et restaurants pour manger, dormir et se procurer la brochure du parcours:**

Capanna Cadagno  
T +41 (0)91 868 13 23  
info@capannacadagno.ch  
www.capannacadagno.ch

Canvetto Cadagno  
T +41 (0) 91 868 16 47  
info@canvettocadagno.ch  
www.canvettocadagno.ch

Rifugio Ristorante Lago Ritom  
T +41 (0)91 868 14 24  
contact@lagoritom.ch  
www.lagoritom.ch

Ouverture pendant l'été, de fin mai à mi-octobre (selon les conditions météorologiques)

### **Autres excursions et activités touristiques dans la région sur:**

www.bellinzoneese-altoticino.ch  
www.ticino.ch

## 6. Références

### **Pour en savoir plus sur la microbiologie du Val Piora:**

Bachofen R., Brandl H. (2007)  
*Val Piora – ein mikrobiologischer Feldführer.*  
Dans Peduzzi R., Tonolla M. et Boucher-Rodoni R.,  
Milieux alpins et changement global.  
Documenta Centro Biologia Alpina 4/Vol. 1: 73-97.

Peduzzi R., Bachofen R. & Tonolla M. (1998) *Lake Cadagno: a meromictic alpine lake.* Documenta Ist. Ital. Idrobiol. 63, 152 pp.

La série de 6 volumes "Documenta Centro Biologia Alpina Piora" est disponible sur le site [www.cadagno.ch](http://www.cadagno.ch) sous l'onglet "Area documenti".

### **Pour en savoir plus sur l'environnement naturel du Val Piora, sur la faune, la flore, l'écologie et la géologie de la région:**

Peduzzi R., Wildi W. (2015)  
*Piora-Lago di Cadagno –Ritóm: Guide nature et environnement.*

### **Lien pour télécharger le Guide nature et environnement:**

[www.cadagno.ch/](http://www.cadagno.ch/)  
[www.unige.ch/forel/fr/services/guide/piora/](http://www.unige.ch/forel/fr/services/guide/piora/)

## Groupe de gestion de projet:

Massimo Caine,  
Aurélia Weber  
(Université de Genève)

Raffaele Peduzzi  
(Fondazione Centro  
Biologia Alpina, Piora)

Mauro Tonolla  
(SUPSI, Fondation du  
Centre de Biologie Alpine  
et Université de Genève)

Reinhard Bachofen  
(Université de Zurich)

Cristina Frago-Corti  
(SUPSI)

Patrick Linder,  
Karl Perron  
(Université de Genève)

## Remerciements:

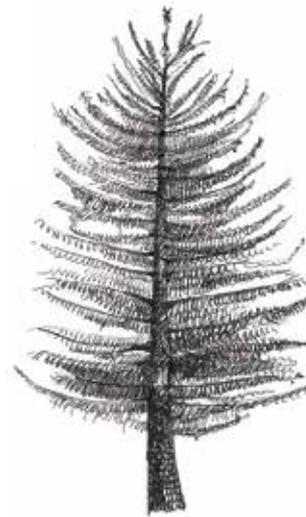
Giovanni Pellegrini  
(Ideatorio, USI)

Daniele Sartori  
(Ufficio dell'insegnamento  
medio superiore  
del Cantone Ticino)

Patrick Viollier  
(Université de Genève)

## Design et supports de communication:

Andrea Delucchi,  
Giancarlo Gianocca,  
Luca Morici et  
Giovanni Occhiuzzi  
(SUPSI, Laboratorio  
cultura visiva)



Le Val Piora est l'une des vallées les plus spectaculaires du Tessin, réputé pour sa riche biodiversité et ses nombreux lacs. Depuis plus de 200 ans, touristes et scientifiques s'y intéressent et viennent profiter de son cadre exceptionnel. Afin de préserver cette vallée, unique en son genre, il est important de connaître et de protéger les communautés qui y vivent, ainsi que l'environnement dans lequel elles évoluent.

