



---

<sup>b</sup>  
**UNIVERSITÄT  
BERN**

**OESCHGER CENTRE**  
CLIMATE CHANGE RESEARCH



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
**Agroscope**

# **Climate change impacts on irrigation water resource available from rivers in Switzerland**

Master thesis Faculty of Science, University of Bern

Agroscope Reckenholz

*handed in by*

Zoe Linder

2021

*Supervisor*

PD Dr. Annelie Holzkämper

*Co-Supervisor*

Dr. Massimiliano Zappa

## Abstract

Water is an essential resource for agriculture, and for life in general. In Switzerland, runoff in alpine catchments is mostly generated from glacier- and / or snow melt, which causes high runoff during spring and summer, but low runoff in the winter season. In the Swiss plateau region, water availability is mostly controlled by rainfall, leading to low runoff in summer, and higher runoff during the winter season. Nearly half of the farmers retrieve their irrigation water from rivers, creeks and lakes. As high water demands during the summer could be met by the coincident peak runoff from snow- and glacier melt, water has rarely been a limiting factor for crop production in the past. Accordingly, over 95 percent of the total agricultural fields in Switzerland are cultivated without irrigation during a normal year. But in the future, climate change will lead to lower water availability and simultaneously higher demand for irrigation due to enhanced evapotranspiration and decreasing rainfall rates. This calls for better assessment of future water resources to understand and prepare for more frequent water scarcity conditions. In this thesis, future runoff projections until the end of the 21<sup>st</sup> century under an RCP 8.5 scenario were studied for 311 catchments of on average 150 square kilometres size in Switzerland. Thereby, the projected runoff was compared to residue water quantities to generate an indicator for the frequency of water scarcity in rivers and the subsequent bans for retrieval of water to irrigate agricultural fields. By conducting interviews with farmers in areas where water scarcity is a problem already today, corresponding problems and solutions can be assessed on a local scale to see how viable they are in the long term. Without climate mitigation, the results show that water scarcity might become a common problem in Switzerland. The projections foresee a decrease in water availability especially on the Swiss Plateau until the end of the 21<sup>st</sup> century. Small rivers which are primarily fed by direct rain input and snow melt input will be the most affected.

**Keywords** – climate change, hydrology, runoff, water scarcity, agriculture, irrigation

### Corresponding author

Zoe Linder

Haldenstrasse 1a, 8185 Winkel

[linderzoe@gmail.com](mailto:linderzoe@gmail.com)

## **Acknowledgements**

Throughout the writing of this thesis, I have received lots of support and assistance. Herewith I want to show my gratitude to those who helped me.

- First and most of all I would like to express my gratitude to my supervisor **Annelie Holzkämper**, whose expertise, guidance, patience, and dedicated support have been invaluable and a great inspiration in the process. Not only were our meetings and conversations extremely instructive, but also a great deal of fun, even during the most challenging brainstorming sessions. It was a pleasure to work with you, I could not have asked for a better supervisor!
- I would also like to thank my co-supervisor **Massimiliano Zappa**, who contributed to steering me through this research by offering his valuable advice and extremely helpful assistance.
- Furthermore, I would like to thank the people of the **climate and agriculture research group** around Jens Leifeld at Agroscope, for having welcomed me in the team and having provided me with a workplace in their office.
- Many thanks go out to **Vera Linder** and **Fabian Schwenzig** for taking time to proof-read my thesis and for giving me advice and support throughout.
- Finally, I want to thank my family, friends, boyfriend, and co-students for supporting and inspiring me throughout the whole writing process.

# Contents

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>  | 6  |
| 1.1      | Hydrology of Switzerland   | 6  |
| 1.2      | Agricultural irrigation today  | 9  |
| 1.3      | Climate change in Switzerland  | 10 |
| 1.4      | Climate change impacts on Hydrology  | 11 |
| 1.5      | Climate change impacts on agricultural irrigation                                    | 14 |
| 1.6      | Study objective and research questions   | 15 |
| <b>2</b> | <b>Data and Methods</b>  | 15 |
| 2.1      | Runoff projections   | 16 |
| 2.1.1    | Hydrological model   | 17 |
| 2.1.2    | Model chains   | 17 |
| 2.1.3    | Catchments   | 18 |
| 2.1.4    | Periods  | 18 |
| 2.2      | Pre-processing of the map  | 19 |
| 2.3      | Pre-processing of the runoff projections   | 19 |
| 2.4      | Calculating Q347 and QMin  | 20 |
| 2.5      | Change in critical days with water scarcity per year                                 | 20 |
| 2.6      | Maps   | 21 |
| 2.7      | Comparison of measured vs. projected runoff  | 21 |
| 2.8      | Evaluation of resource indicator   | 22 |
| 2.9      | Interviews   | 24 |
| <b>3</b> | <b>Results</b>   | 24 |
| 3.1      | Percentage change in Q347: Reference period - 2060 period                            | 25 |
| 3.2      | Percentage change in Q347: Reference period - 2085 period                            | 26 |
| 3.3      | Change in critical days with water scarcity per year: Reference period - 2060 period | 27 |
| 3.4      | Change in critical days with water scarcity per year: Reference period - 2085 period | 29 |
| 3.5      | Model chain variability  | 31 |
| 3.6      | Evaluation of the resource indicator   | 32 |
| 3.7      | Interviews   | 35 |
| 3.7.1    | Regulations  | 36 |
| 3.7.2    | Water scarcity   | 36 |
| 3.7.3    | Alternative water sources  | 37 |
| 3.7.4    | Crops  | 38 |
| 3.7.5    | Irrigation strategy  | 39 |
| 3.7.6    | Timing of irrigation   | 40 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>4</b> | <b>Discussion</b> .....  | 40 |
| 4.1      | What impact will climate change have on water resources available from rivers for irrigation in Switzerland? ..... | 40 |
| 4.2      | How are farmers dealing with water scarcity?.....  | 43 |
| 4.3      | Strengths and Limitations.....   | 44 |
| 4.4      | Outlook.....   | 45 |
| <b>5</b> | <b>Conclusion</b> .....  | 46 |
| <b>6</b> | <b>References</b> .....  | 47 |
| <b>A</b> | <b>Appendix</b> .....  | 51 |
| A.1      | Mean changes per regime and regime type .....  | 51 |
| A.2      | Comparison of measured vs. simulated runoff .....  | 51 |
| A.3      | R-code .....   | 52 |
| A.4      | Factsheet of water retrieval regulations in the canton of Vaud .....   | 59 |
| A.5      | Interview transcript Pierre Mayor, Grandcour VD (22.06.2021) .....   | 59 |
| A.6      | Interview transcript Ludovic Gatabin, Vullierens VD (06.07.2021) .....   | 67 |
| A.7      | Interview transcript Andreas Bühler, Oppens VD (06.07.2021) .....  | 71 |
| A.8      | Interview transcript Alain Jaquemet, Corcelles VD (06.07.2021) .....   | 75 |

## List of tables

|   |    |
|---|----|
| Table 1 The 18 model chains used in the study, characterized by the global circulation model (GCM), the regional circulation model (RCM), the resolution and the representative concentration pathway used..... | 18 |
| Table 2 The relationship between Q347 and QMin (Source: Federal Water Protection Act).....  | 20 |
| Table 3 The four farmers and the village where they live, the river where they retrieve water from and the crops they mainly produce.....   | 35 |
| Table 4 The mean changes in Q347 and critical days with water scarcity for the different regimes and regime types for all periods.....  | 51 |
| Table 5 The Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and percentage bias between measured and simulated runoff for 28 stations.....  | 51 |

## List of figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 The different runoff regimes in Switzerland: The Alpine regime (blue colours), the Swiss Plateau and Jura regime (red to yellow colours) and the Southern Alpine regime (pink colours) with their respective regime types in different hues (Source: <a href="http://www.map.geo.admin.ch">www.map.geo.admin.ch</a> )..... | 7  |
| Figure 2 The seasonal cycles of runoff for the 16 different regime types in Switzerland (The Alpine regime types (1-6), the Swiss Plateau and Jura regime types (7 - 12) and the Southern Alpine regime types (13 -16)) (Source: Weingartner and Aschwanden, 1985).....   | 8  |
| Figure 3 Projected changes in the seasonality of runoff. Source: Weingartner (2018), data: FOEN.....  | 12 |
| Figure 4 Flow chart showing the main steps described in chapters 2.2. to 2.6 used to create the maps.....   | 16 |
| Figure 5 Map of Switzerland showing the 311 150 km <sup>2</sup> catchments, the river sections and the 28 gauging stations providing historical measurements of runoff.....   | 22 |
| Figure 6 The location of the canton of Vaud (yellow) within Switzerland and the four rivers used to evaluate the resource indicator: Venoge (blue), Menthue (violet), Aubonne (red) and Broye (green). ....   | 23 |
| Figure 7 The percentage change in Q347 from the reference period to the 2060 period.....  | 25 |
| Figure 8 The percentage change in Q347 from the reference period to the 2085 period.....  | 26 |
| Figure 9 The change in critical days with water scarcity from the reference period to the 2060 period. ....   | 27 |
| Figure 10 The change in critical days with water scarcity from the reference period to the 2085 period. ....  | 29 |
| Figure 11 Density plots of the runoff according to each of the 18 model chains and QMin, for the reference period (gray), the 2060 period (orange) and the 2085 period (red) shown for the rivers Broye (left) and Rosegbach (right). ....  | 31 |
| Figure 12 Density plot of the runoff values in the river Aubonne from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid). ....   | 32 |
| Figure 13 Density plot of the runoff values in the river Menthue from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid). ....   | 33 |
| Figure 14 Density plot of the runoff values in the river Venoge from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid). ....  | 34 |
| Figure 15 Density plot of the runoff values in the river Broye from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid). ....   | 35 |
| Figure 1 Example factsheet published from the canton of Vaud to inform farmers about if water retrieval is permitted (Autorisé) or forbidden (interdit) for each river in the given period.....   | 59 |

# 1 Introduction

## 1.1 Hydrology of Switzerland

Switzerland is widely known as the water tower of Europe. Although its area makes up only 0.4 % of the continent, it contains 5 % of its total fresh water resources (Schädler, 2010). These are stored in groundwater reservoirs, natural and artificial lakes, glaciers, snow covers, or as soil water, and emerge in large rivers that provide water for many European countries (Blanc & Schädler, 2013). The annual Swiss water balance consists of an incoming flux of 1431 mm of precipitation and 318 mm incoming river runoff, and an outgoing flux that contains 1299 mm river runoff and 464 mm evapotranspiration. This results in a slight imbalance of 14 mm per year that is lost through increasing glacier melt (Hubacher & Schädler, 2010). On average, the runoff is composed of 57 % direct precipitation input, 42 % snow melt input, and 1 % glacier melt input (Björnsen Gurung & Stähli, 2014). The local composition of runoff varies a lot between different regions and is mainly determined by topography. Another feature of runoff that differs according to the region is its seasonal cycle. It is shaped by the seasonal cycle of precipitation, the seasonal cycle of evapotranspiration and the amount of contribution of snow and glacier melt (BAFU, 2021). In the Swiss Plateau, rivers are predominantly rain-fed, and the seasonality of runoff thus mainly depends on the variability of precipitation and evapotranspiration (BAFU, 2021; Muelchi, Rössler, Schwanbeck, Weingartner, & Martius, 2021b). This leads to low runoff in summer, and higher runoff during the winter season (Brunner, Björnsen Gurung, Zappa, et al., 2019). In glacier-free Alpine catchments, snow melt is responsible for runoff generation, leading to low runoff values in winter, when snow is stored, and high runoff values from spring onwards, when the melting season starts (BAFU, 2021; Beniston et al., 2018). In highly glacierized catchments, glacier melt input in summer is the dominant contributor to runoff, leading to peak runoff values during this season. South of the Alps, runoff maxima occur in spring and autumn due to peak precipitation values (BAFU, 2021).

According to the resulting seasonal patterns, distinct so-called runoff regimes form. The regimes vary depending on the region, altitude and degree of glaciation (Blanc & Schädler, 2013). Three main regimes can be identified in Switzerland after Weingartner and Aschwanden (1985), namely the Alpine Regime, the Swiss Plateau and Jura Regime and the Southern Alpine regime, and these altogether contain 16 transitional and regional specific regime types, as depicted in *figure 1*.

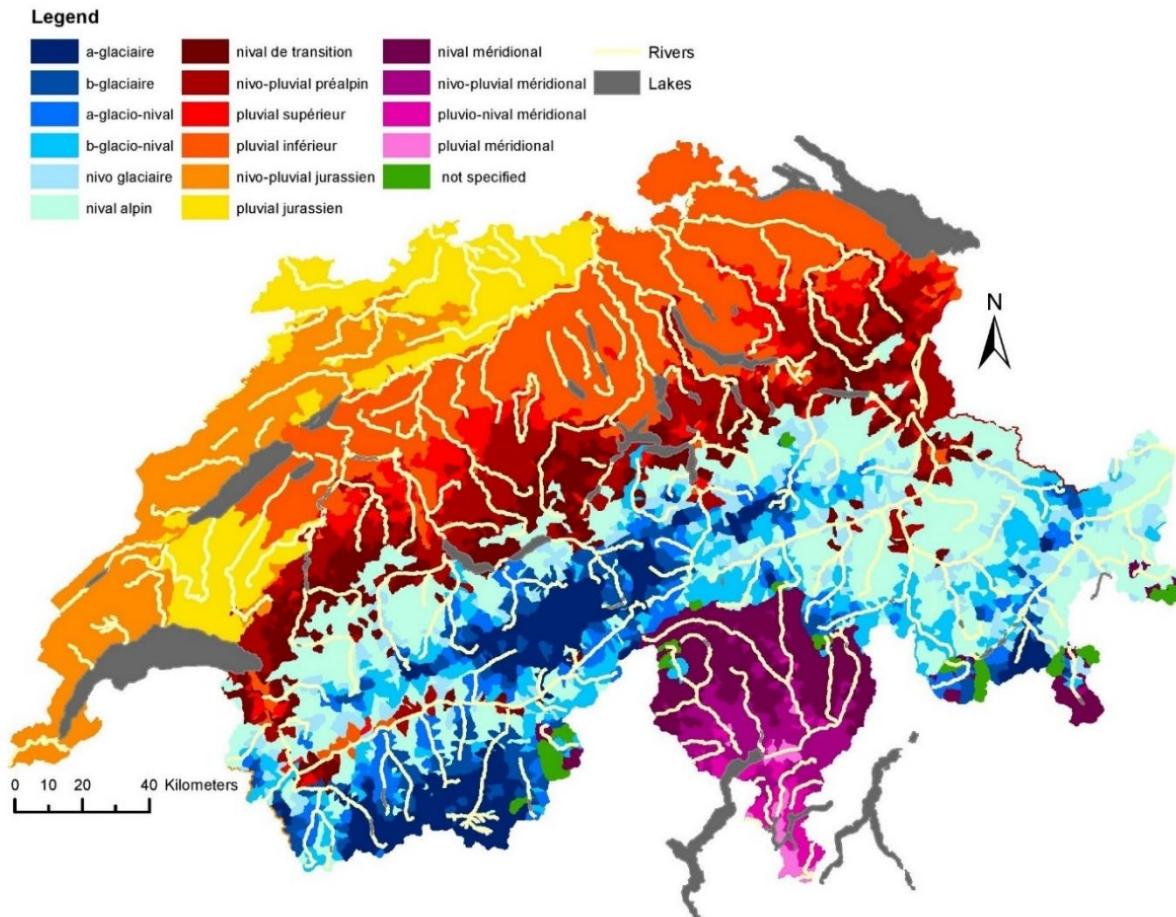


Figure 2 The different runoff regimes in Switzerland: The Alpine regime (blue colours), the Swiss Plateau and Jura regime (red to yellow colours) and the Southern Alpine regime (pink colours) with the respective regime types in different hues (Source: [www.map.geo.admin.ch](http://www.map.geo.admin.ch)).

The Alpine regime is defined by a mean catchment altitude of more than 1550 metres a.s.l. and contains 6 regime types. The first regime type “a-glaciaire” is defined by a ranking of the months according to maximum runoff in July, August, June, and then September. In July and August, about 60 % of the yearly runoff values can be measured. Minimum runoff values occur from December until March (figure 2). This regime can be found in catchments which are at least 36 % glacierized (for Inn: 30 %), and which lie at a mean altitude of more than 2400 metres a.s.l. The regime “b-glaciaire” is the second Alpine regime type and consists of the same ranking of monthly runoff maxima as “a-glaciaire”, but there are significant differences in mean values from June to September and snow melt occurs earlier during the year. This regime can be found in catchments with a glaciation between 22 and 40 % (20 – 30 % for Inn), and with a mean altitude of more than 2100 metres a.s.l. In the regime “a-glacio-nival”, the third Alpine regime type, maximum runoff values occur in June and July, then follow August and Mai, and minimum runoff values can be found from January until March. The peak runoff mostly lies within July. The glaciation in such catchments amounts to less than 20 %, and mean catchment altitude lies above 2000 metres a.s.l.. In the regime “b-glacio-nival”, the fourth Alpine regime type, the same



ranking of maximum runoff can be found as in the regime “a-glacio-nival”, but the peak runoff always occurs in June. Runoff during winter increases slightly in comparison to the third Alpine regime type. Catchments with this regime lie at an average altitude of more than 2000 m a.s.l. and glaciation usually ranges between 1 and 12 %. In the regime “nivo-glaciaire”, the 5<sup>th</sup> Alpine regime type, the ranking of months with maximum runoff are June, July, May and then August. June describes the month with peak runoff. Catchments with this regime lie between 1550 and 2300 metres a.s.l. and glaciation is defined by a maximum of 12 %. The regime “nival alpin” is defined by peak runoff in either May or June, followed by July and August. Minimum runoff occurs in January and February. This one-peaked regime can be found in nearly or completely un-glacierized catchments with a mean altitude of above 1550 metres a.s.l. (Weingartner & Aschwanden, 1985).

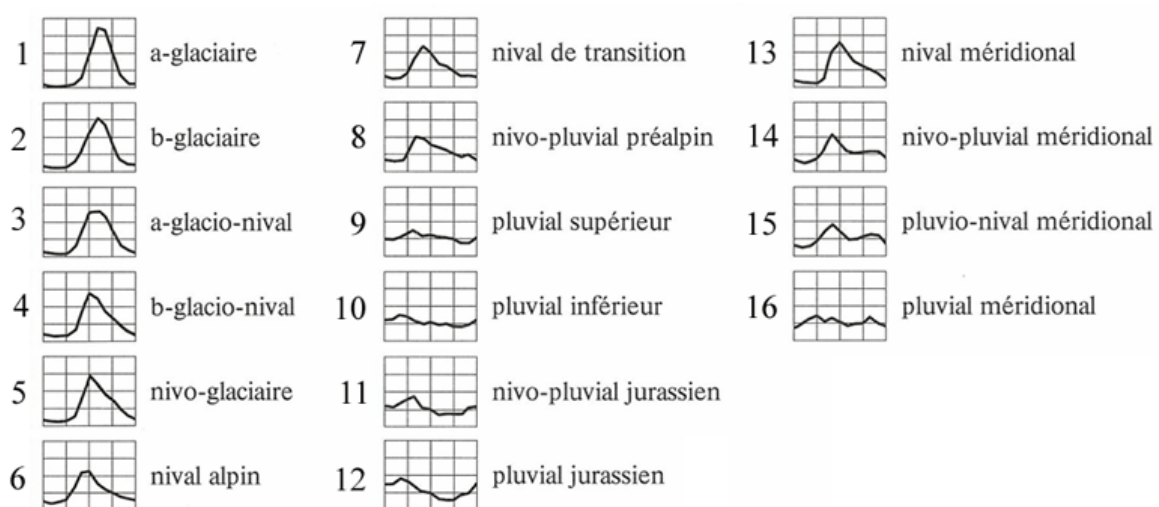


Figure 3 The seasonal cycles of runoff for the 16 different regime types in Switzerland (The Alpine regime types (1-6), the Swiss Plateau and Jura regime types (7 - 12) and the Southern Alpine regime types (13 -16)) (Source: Weingartner and Aschwanden, 1985).

The Swiss Plateau and Jura Regime lies north of the Alpine regime and characterizes catchments with a mean altitude of less than 1550 metres. The six regime types are defined by three characteristics: the season of the runoff minimum, the season with runoff maximum and the variance of the regimes. The first regime type “nival de transition” constitutes the mostly snowmelt driven transition between the Alpine regime and the Swiss Plateau and Jura regime. Maximum runoff occurs during May or June, and the minimum lies between December and February. In comparison to the regime “nival alpin”, there exists a second small peak in November, and April becomes more runoff intensive. This regime can be found in catchments between 1220 and 1550 m a.s.l. The second regime type “nivo-pluvial préalpin” entails the same distribution of maximum and minimum runoff as the regime “nival de transition”, but with a more pronounced second peak in November, as precipitation in late autumn contributes to runoff. This regime can be found at an altitude between 900 and 1350 m a.s.l. The third regime type “pluvial supérieur” describes a seasonal pattern with maximum runoff in March and especially April, while

several secondary maxima exist. It can be found at mean altitudes between 700 and 900 m a.s.l. The fourth regime type “pluvial inférieur” is very similar to the regime “pluvial supérieur”, but the main distinction lies in the months of maximum runoff, which are February and March in this regime. Additionally, the low runoff period lasts a little longer, namely from September to October. It can be found at altitudes below 750 m a.s.l. and it extends westwards until the Broye river. Finally, the two Jura regimes are characterized by their runoff minima during Summer and their large variation: the 5<sup>th</sup> regime type “nivo-pluvial jurassien” has its runoff maximum during March and April and lies at an altitude of on average 800 to 1100 m a.s.l., while the 6<sup>th</sup> regime type “pluvial jurassien” lies below 900 m a.s.l. and with a runoff maximum during February and March (Weingartner & Aschwanden, 1985).

The Southern Alpine regime lies south of the Alps and is defined by a distinct seasonal pattern in runoff compared to the Alpine and the Swiss Plateau and Jura regime. The Southern Alpine regime can be split up into 4 regime types according to their altitude. Catchments which lie at a mean altitude of 1800 to 2300 metres a.s.l. and which are characterized by a glaciation of 0 to 6 % can be attributed to the first regime type “nival méridional”. Runoff maxima occur from May to July and runoff minima from January to March. Further down at a mean altitude from 1200 to 1800 metres a.s.l. the second regime type “nivo-pluvial méridional” can be found. It is characterized by maximum runoff in May and subsequently June, and runoff minima in January and February. Compared to the previous regime, the pluvial input increases and leads to enhanced autumn runoff (27 % of the yearly runoff compared to 22 %). At a mean altitude between 700 and 1200 metres a.s.l. lies the third regime type “pluvio-nival méridional”, which is characterized by earlier runoff maxima (May and April) than the regimes higher up, and runoff minima between December and February. The autumn runoff increases further and reaches 30 % of total yearly runoff, while dry conditions intensify during Summer. Below 700 metres a.s.l., the fourth regime type “pluvial méridional” exists with low seasonality and two maxima in Spring (March to May) and Autumn (October and November) (Weingartner & Aschwanden, 1985).

## **1.2 Agricultural irrigation today**

Agriculture is the main land use type by area in Switzerland (Brönnimann et al., 2014). In the past, water was rarely a limiting factor for crop production, as high water demands during the summer could be met by the coincident peak runoff from snow- and glacier melt (Brunner, Björnsen Gurung, Zappa, et al., 2019). But when water availability is low, irrigation serves as an important tool in agriculture, as it helps to ensure stable hydration of crops and thereby reduces the drought stress in the plants. Also, often higher yields can be attained than if crops are fed solely by precipitation input (Rosa et al., 2020). The need for irrigation is generally highest during summer due to higher temperatures and thereby increasing potential evapotranspiration of soil and plants, and the peak season of crop production (Brunner, Björnsen Gurung, Speerli, et al., 2019). Therefore, irrigation peaks in July, but varies

depending on the length and end of the growing season of the different crops (Eisenring, Holzkämper, & Calanca, 2021).

The use of surface and ground water for irrigation together with other uses increases the pressure on freshwater resources. 46 % of the farms use water from creeks, rivers and lakes, while 37 % irrigate their fields with groundwater (Bundesamt für Statistik, 2016). In Switzerland, retrieval of water from public sources is regulated by law. The Federal Act on the Protection of Waters stipulates that any withdrawal from a permanently running water source requires a permit (Art. 29). The agricultural use of river water is thereby primarily regulated over the so-called “Minimum residual flow”  $Q_{Min}$ , which is defined as a fraction of  $Q_{347}$ , the flow rate which is reached or exceeded averagely 347 days per year over ten years. The relationship between  $Q_{Min}$  and  $Q_{347}$  depends on the size of the river, as with smaller  $Q_{347}$ ,  $Q_{Min}$  becomes a larger fraction of  $Q_{347}$ .  $Q_{Min}$  is increased, in cases where water quality is too low, groundwater resources are not sufficiently replenished, rare habitats and biocenoses cannot be sustained, water depth is too shallow for free fish migration or spawning grounds, and habitats for juvenile fish are endangered. If this minimum residual flow can be ensured, and together with other withdrawals a maximum of 20 percent of the flow rate  $Q_{347}$  or a maximum of 1000 l/s are retrieved, farmers are allowed to take water from the water source (The Federal Assembly of the Swiss Confederation, 1991).

Fuhrer and Calanca (2014) have shown that in theory, 26 % of the total agricultural area in Switzerland would benefit from irrigation, as at least every third year a positive effect on the yield could be attained (Fuhrer & Calanca, 2014). However, at present, over 95 percent of the agricultural fields in Switzerland are not irrigated (BAFU, 2021). According to the farm census of 2010, 2013 and 2016, the commonly irrigated area entails 34'000 hectares, which corresponds to around 2 % of the agricultural land. 77 % of all fields with legumes, and around 14 % of all fields with fruit are irrigated (Bundesamt für Statistik, 2016). Mostly special cultures like vegetable, fruit and berries, and arable cultures like potato, sugar beet and maize are regularly watered, as these ensure enough revenues for the farmers to cover the water pumping costs (Fuhrer & Calanca, 2014). Artificial meadows or permanent grassland make up one third of the irrigated area, of which most lie in the inner-alpine valleys (Bundesamt für Statistik, 2016).

### **1.3 Climate change in Switzerland**

It is no secret that the climate in Switzerland is changing. Near-surface air temperatures have risen by almost 2°C from 1864 to 2017, which is more than double of the global mean (0.9°C) (Begert, Stöckli, & Croci-maspoli, 2019). The warming was most accentuated from the 1980s onwards, with the 30-year period from 1988 to 2017 containing the highest summer 30-year average temperatures in Switzerland since the start of the reconstructions in 1685. More frequent and intense heat waves, less

frequent cold periods, and a rise of the zero-degree line by 300 to 400 metres of altitude compared to the 1960s were the outcome (CH2018, 2018). While overall temperatures are projected to further increase in Switzerland during the 21<sup>st</sup> century, the strength of the warming depends on the emission scenario and season. Under the low-emission RCP scenario 2.6, temperatures in Switzerland are expected to increase by 0.7 to 2.4 °C in summer and 0.6 to 2.0 °C in winter from 2070 to 2099 compared to 1981 to 2010. Under the high-emission RCP scenario 8.5, temperatures are projected to increase by 4.1 to 7.2 °C in summer and 3.1 to 5.4 °C in winter for the same period (CH2018, 2018). Accordingly, heatwaves, hot days and hot nights will also become more extreme and more frequent in the future (BAFU, 2021).

When it comes to precipitation, yearly rates have changed only little in the past (BAFU, 2021) and are projected to stay more or less constant in the future, but large shifts in the seasonal pattern from less summer to more winter precipitation are expected (CH2011, 2011). A study by Fischer et al. (2015) found that the decrease in summer precipitation will be most pronounced in low elevations with 13 % in eastern Switzerland and 25 % in western Switzerland until the end of the century, while winter precipitation might on average increase by 5 to 12 % under an A1B-scenario, which predicts a seasonal mean temperature increase of 2.7-4.1°C in Switzerland (CH2011, 2011; A. M. Fischer et al., 2014). Also, precipitation is projected to increasingly fall as rain rather than snow, with a shift in snowline height of 150 meters for each degree Celsius warming (Beniston, 2003).

Evapotranspiration, which has not significantly changed since 1976 (Hirschi, Michel, Lehner, & Seneviratne, 2017), is expected to increase by averagely 10 % until the end of the century under RCP 8.5 (Brunner, Björnson Gurung, Zappa, et al., 2019). The process is complex, as evaporation by humid soils help to slow down the further heating process during heatwaves (Vogel et al., 2017), but lacking evaporation in dried soils has the inverse effect and can lead to elongated heat and dry periods (Lorenz, Jaeger, & Seneviratne, 2010). With ongoing climate change, the latter might increasingly be the case (BAFU, 2021).

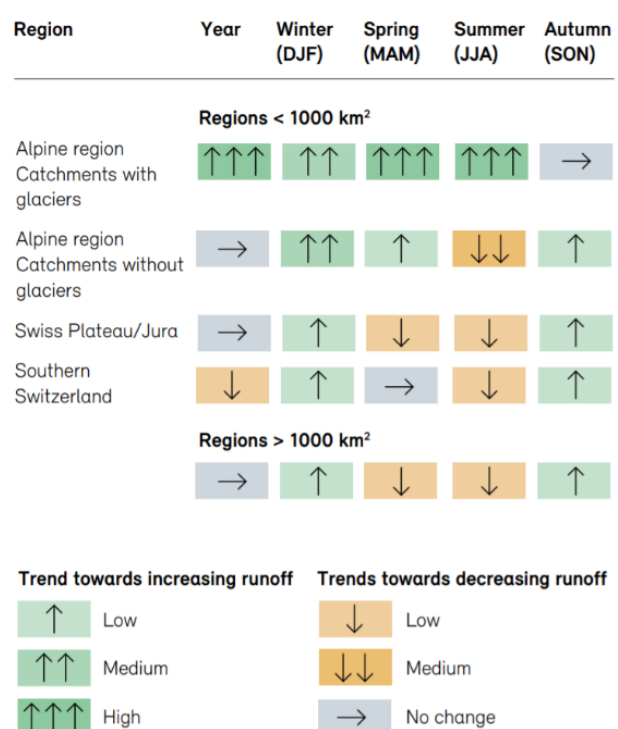
## 1.4 Climate change impacts on Hydrology

Changes in temperature, precipitation and evapotranspiration strongly affect the hydrological cycle. Increasing temperatures in winter and spring lead to enhanced glacier and snow melt and an increasing shift from snow to rain precipitation in mountainous areas, which is why they are known to be regions that are particularly sensitive to climate change (Beniston et al., 2018). Since the 1980's, the number of days with snow and snowfall has decreased by 20 % at 2000 m a.s.l. and by 50 % below 800 m a.s.l (CH2018, 2018). By the end of the century, a further decrease in snow water equivalent of 80 to 90 % at 1500 m a. s. l. compared to the beginning of the century, and reduced snow cover duration are expected (Beniston et al., 2018; Jylhä, Fronzek, Tuomenvirta, Carter, & Ruosteenoja, 2008). A study by

Marty et al. (2017) has shown that the snow season at 1500 m a.s.l. is expected to start 2 to 4 weeks later and finish 5 to 10 weeks earlier by the end of the century than during the period of 1992 to 2012 (Marty, Schlögl, Bavay, & Lehning, 2017). Also, the total glaciated area in Switzerland has decreased by 28 % in the period from 1973 to 2010, corresponding to an average reduction of 0.76 % per year (M. Fischer, Huss, Barboux, & Hoelzle, 2014). Beniston et al. (2018) state that by the end of the 21<sup>st</sup> century, small glaciers may well disappear completely from the country's surface, while about 10 % of the current volume of larger glaciers might still exist (Beniston et al., 2018). Under RCP 8.5, 94% of the total ice volume in Switzerland existing in 2017 is projected to be lost by the end of the century (Zekollari, Huss, & Farinotti, 2019).

While enhanced snow and glacier melt release more water into the rivers, a mean decrease in runoff is expected due to lacking summer and autumn precipitation (Muelchi, Rössler, Schwanbeck, Weingartner, & Martius, 2021a). According to the Federal Office for the Environment, mean annual runoff in Switzerland is expected to change only very little until the end of the 21<sup>st</sup> century if climate mitigation is applied. In an RCP 8.5 scenario however, slightly decreasing annual precipitation rates, higher ambient temperatures and the following longer vegetation periods, and increased evapotranspiration lead to a projected decrease of runoff by on average – 9 %, with most extreme decreases happening in today still glacierized areas (BAFU, 2021).

The expected changes in snow and glacier melt lead to a general shift in runoff from the warm to the cold season (Adam, Hamlet, & Lettenmaier, 2009). Projected changes in the seasonality of runoff are summarized in *figure 3* (Weingartner, 2018). During the winter months, increasing precipitation and increasingly rain rather than snow fall will lead to enhanced runoff (BAFU, 2021). According to Brunner et al. (2019), the increase in precipitation will reach 10 % in RCP 2.6 and 30 % in RCP 8.5 until the end of the century (Brunner, Björnsen Gurung, Zappa, et al., 2019). In spring, the signal differs depending on the region. Reduced snow cover and increasing evapotranspiration will lead to decreasing runoff in the Swiss Plateau and Jura region, while in the Alps, earlier snow melt will cause growing runoff



Source: Weingartner (2018), data: FOEN

Figure 4 Projected changes in the seasonality of runoff.  
Source: Weingartner (2018), data: FOEN

(BAFU, 2021; Muelchi et al., 2021b). Peak runoff in the Alps is expected to shift from July to June according to both the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenario (Hanzer, Förster, Nemeč, & Strasser, 2018) or might even occur up to 2 months earlier (Horton, Schaepli, Mezghani, Hingray, & Musy, 2006). In summer, declining precipitation, higher evapotranspiration rates and reduced melt water from glaciers and snow provoke a mean decrease in runoff of 10 % with climate mitigation (RCP 2.6) and 40 % without climate mitigation (RCP 8.5) (BAFU, 2021). In rain dominated regimes, reduced summer precipitation will be the most important driver for decreasing runoff (Brunner, Björnsen Gurung, Speerli, et al., 2019). A study by Hanzer et al. (2018) in the Austrian Alps confirms that summer runoff is expected to strongly decrease, especially during the second half of the 21<sup>st</sup> century (Hanzer et al., 2018). While all regions in Switzerland will be susceptible to reduced discharge in summer, the strongest reduction in runoff is expected in late summer in the Swiss Plateau and Jura regime and the Pre-Alps (BAFU, 2021; Muelchi et al., 2021b). In autumn, a mean reduction of 5 % is projected with climate mitigation (RCP 2.6) and 20 % without climate mitigation (RCP 8.5) (BAFU, 2021).

As observations from 1961 to 2015 have shown, especially but not only in highly glacierized catchments, the rising snow line has led to enhanced runoff in winter. In the future, runoff is projected to increase until 2050 (+/- 15 years) in today's strongly glacierized catchments (BAFU, 2021). After this, glacier shrinkage and complete glacier loss will lead to rapidly diminishing runoff (Freudiger, Vis, & Seibert, 2020). As mentioned in the hydro-CH2018 synthesis report, this will lead to a shift in the runoff regime of today's glacierized catchments from glacial to increasing nivo-glacial and nival regimes. Subsequently the dependency on seasonal precipitation will be enhanced, leading to higher vulnerability to droughts in these areas (Ayala, Farinotti, Stoffel, & Huss, 2020). In the Southern Alpine regime, mean annual runoff decreased with the strongest reduction during the summer months. In pluvial catchments of the Swiss Plateau and the Jura regime, runoff has slightly decreased in spring and summer (BAFU, 2021). Muelchi et al. state that the moment after which runoff values start to differ significantly from natural variability is expected before the period of 2036 to 2065 for high-Alpine catchments, and later for catchments below 1500 m a.s.l. (Muelchi et al., 2021b). Runoff will also change in terms of extremes. Muelchi et al. (2021b) have found that moderate low flows are projected to reach lower values than previously in lower lying catchments and to start at higher values in Alpine catchments under RCP 8.5 conditions in Switzerland. Low flows are first expected to emerge in high Alpine catchments in the early 21<sup>st</sup> century, and later but more often also in lower lying catchments. Brunner et al. (2019) state that minimum discharge of low-flow regimes in rainfall-dominated regions decreases by a maximum of 50 %, and by 25 % in high-flow regimes. For both regimes, the maximum runoff increases by up to 50 %. In melt-dominated regions on the other hand, minimum runoff increases by up to 100 %, while maximum runoff decreases by maximum 50 % (Brunner, Farinotti, Zekollari, Huss, & Zappa, 2019).

## 1.5 Climate change impacts on agricultural irrigation

Increasing evapotranspiration, thinning snowpack and earlier snowmelt will lead to a reduction in soil water content, and decreasing rainfall rates promote faster consumption of the soil water storage (Beniston et al., 2018; Fuhrer, Holzkämper, Klein, Tendall, & Lehmann, 2013). This will enhance the crop water demand (Fuhrer, 2012). But with lacking summer precipitation, changing snow and glacier melt and reduced runoff, water availability for irrigation is expected to decrease in the future (BAFU, 2021; Smith et al., 2014). With the high demand for irrigation and simultaneous lower water availability, water shortages are expected to become more likely during the growing season on both local and regional scales (Brunner, Björnsen Gurung, Zappa, et al., 2019). In previous years with very dry conditions like 2015 and 2018, water retrieval from rivers had to be restricted by the government to ensure the needed residue water quantities. This concerned mostly small and mid-sized rivers, which account for about 80 % of the total river network in Switzerland. In extreme years, the majority of the rivers are thus no reliable source for irrigation anymore (BAFU, 2021). Currently, water demand for irrigation can especially in alpine catchments be met by the peaking runoff from snow and glacier melt during summer (Brunner, Björnsen Gurung, Zappa, et al., 2019). But the lowlands are and will be more affected by water scarcity than the Alps, due to the direct dependence on precipitation input. This is crucial for agriculture, as most crops in Switzerland are cultivated in the lowlands (Brunner, Björnsen Gurung, Speerli, et al., 2019). Additionally, not only the agricultural, but also the domestic, industrial and energy sectors are affected by water scarcity, which might enhance low water availability for agriculture due to higher competition for water (Beniston, 2003).

Assuming no change in the type of crops cultivated in Switzerland, the increase in irrigation water demand will amount to 10 to 20 % with climate mitigation (RCP 2.6), and 40 to 50 % without climate mitigation (RCP 8.5) (Hirschi et al., 2020; Holzkämper, 2020). Eisenring et al. (2021) have found that for all crops investigated in their study, the water demand rises until the end of the century under an RCP 8.5 scenario. For example, the demand for irrigation might rise by 33% for potatoes and iceberg lettuce, and by 35 % for ryegrass (Eisenring et al., 2021). However, if more water intensive crops will be cultivated in the future, the need for irrigation will become even bigger (BAFU, 2021). Still many ways exist, with which the problem of lacking water for irrigation can be countered. Rising temperatures during spring could allow for earlier sowing and harvesting, which could help to at least partially avoid the most drought-affected months in late summer and early autumn (Eisenring et al., 2021). Another measure that can be taken is to increase water productivity. This can be done by either using pressurized irrigation systems and/or appropriate irrigation schedules, which reduce the evaporative or system loss of water in comparison to traditional irrigation methods (Nikolaou, Neocleous, Christou, Kitta, & Katsoulas, 2020). For example, Mesa-Jurado et al. (2012) have shown that closed pressurized pipe network systems could save up to 90% of the water used in normal practices

(Mesa-Jurado, Martin-Ortega, Ruto, & Berbel, 2012). Also, farmers can adapt by planting more drought resistant varieties in the long term (Zhang, Fu, Wang, & Zhang, 2019).

## 1.6 Study objective and research questions

The aim of this study is to translate hydrological projection data into information that is relevant to the agricultural sector. In previous research, projected runoff values have either been displayed at outlets or over entire catchments. But in context with agricultural water use it is helpful to locate river segments as these play an important role for irrigation and attribute changes to these segments. This study thus compares river runoff projections to residue water quantities to establish an indicator for water availability from rivers for agricultural irrigation. To add on to the theoretical background, interviews have been conducted to get real life examples of how water scarcity is dealt with today.

This study aims to answer following research questions:

1. What impact will climate change have on water resources available from rivers for irrigation in Switzerland?
2. How are farmers dealing with water scarcity?

## 2 Data and Methods

To address the first research question, 18 future RCP 8.5 runoff projections for the period of 2045 to 2074 and 2070 to 2099 at the outlets of 311 catchments of on average 150 km<sup>2</sup> size have been compared to past runoff values for the same catchments from 1981 to 2010. Furthermore, future runoff has been compared to projected residue water quantities for the respective sites and periods. The main steps of the processes described in the chapters 2.2. to 2.6. are depicted in *figure 4*. For validation purposes, historical control data belonging to the future projections of 28 stations have been compared to historical measurements in the same rivers for the period from 1981 to 2010. To assess the accuracy of using residue water quantities as resource indicator for irrigation, for the period of 2011 to 2020, an analogy was drawn between water pumping regulations for rivers in the canton of Vaud and historical runoff measurements of rivers in the canton Vaud on one hand, and to the control data of the projected runoff values of these rivers on the other hand. To address the second research question, qualitative interviews have been conducted with four farmers of the canton of Vaud.



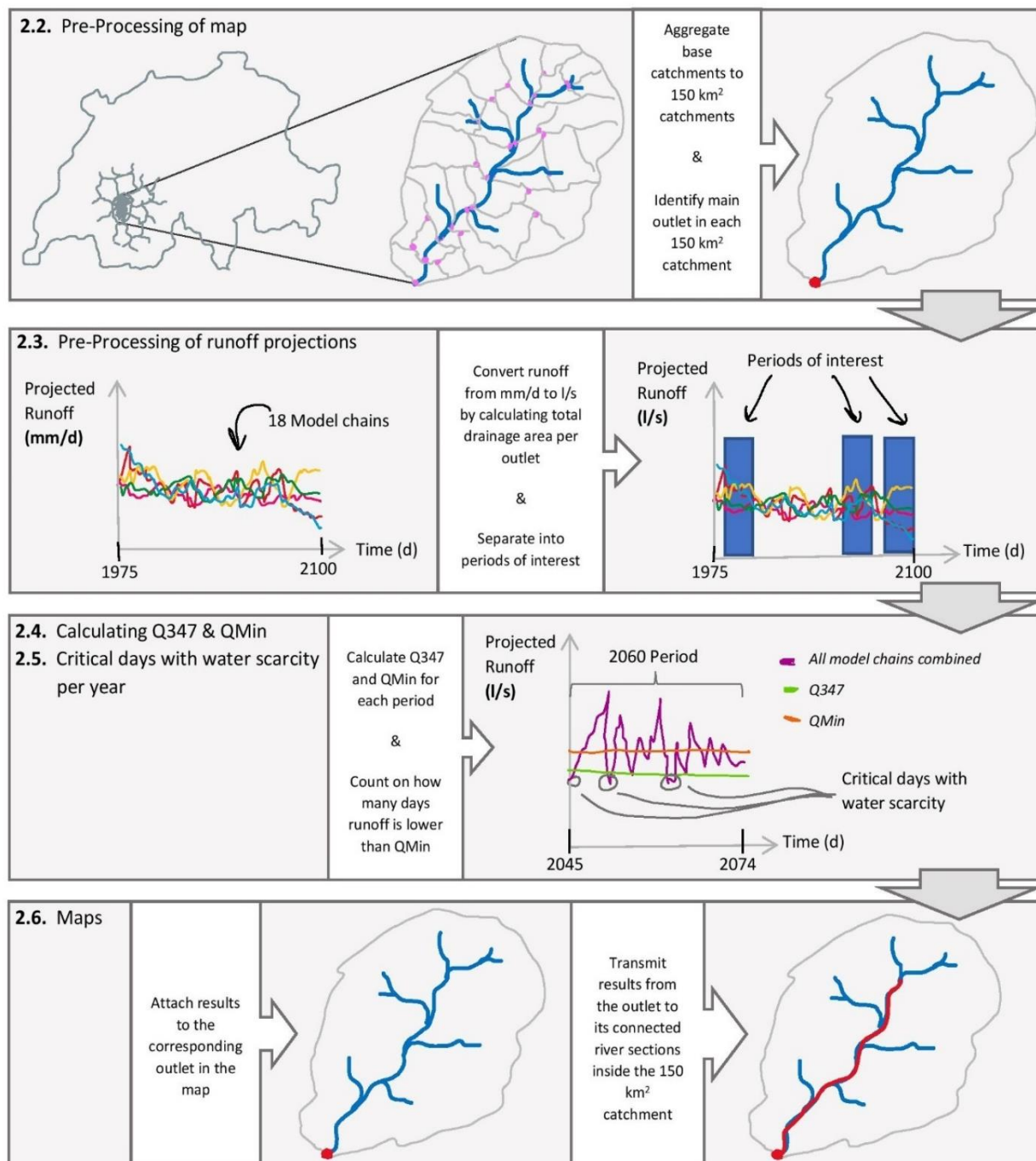


Figure 5 Flow chart showing the main steps described in chapters 2.2. to 2.6 used to create the maps.

## 2.1 Runoff projections

To estimate water resources of rivers under future climate, runoff projections for Switzerland which were previously used in the study of Brunner et al. (2019) have been used. Runoff projections represent the various possible evolutions of runoff in the future based on numerical model simulations (Jacob et al., 2021).

### 2.1.1 Hydrological model

The runoff projections were computed based on the semi-distributed hydrological PREcipitation-Runoff-EVApotranspiration HRU model called PREVAH, which is a conceptual process-based model driven by observed and projected time series of temperature, precipitation, relative humidity, wind speed and shortwave radiation (Viviroli, Zappa, Gurtz, & Weingartner, 2009). It comprises various sub-models, which each delineate different hydrological measures such as interception storage, soil water storage, soil water depletion by evapotranspiration, snow accumulation, snow melt, glacier melt, groundwater, runoff, baseflow generation, discharge concentration and flow routing (Brunner, Björnson Gurung, Zappa, et al., 2019). PREVAH has been proven to reliably reproduce the water balance of Switzerland (Speich, Bernhard, Teuling, & Zappa, 2015; Zappa & Pfaundler, 2009), as it has especially been developed to fit conditions in mountainous areas (Viviroli et al., 2009). It has already been used for various climate impact studies in the past (Köplin, Viviroli, Schädler, & Weingartner, 2010).

### 2.1.2 Model chains

The runoff projections based on PREVAH were provided according to 18 model chains in average millimetres of runoff per day for the period from 1975 to 2100. The model chains each consist of two models, namely one global circulation model (GCM) and one regional circulation model (RCM). While GCM's are useful for studying climate on a global scale, RCM's characterize regional and local features (Jacob et al., 2021). The combination of GCM and RCM is necessary to compute climate variables in a country with complex topography like Switzerland, as the resolution of GCM's is far too coarse to accurately represent local climatic features, but RCM's refine the global climate signal by representing atmospheric and surface processes in much higher resolution (CH2018, 2018). Each model chain is additionally defined by the horizontal resolution of the simulation. EUR-11 corresponds to a high resolution of 0.11 degree or 12.5 kilometres and is expected to produce added value while being more costly than EUR-44, a low resolution of 0.44 degree or approximately 50 kilometres (Jacob et al., 2021).

All the model chains used in this study follow the representative concentration pathway 8.5 (RCP 8.5) treated in the latest assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (*table 1*). RCP scenarios are emission scenarios which account for the different potential anthropogenic impacts when describing future climate states (Jacob et al., 2021). RCP 8.5 thereby assumes continued emission growth equalling to unabated emissions, implying an increase in global radiative forcing to an average of 8.5 W/m<sup>2</sup>, a global CO<sub>2</sub>- equivalent concentration rising to 1370 ppm and a global mean surface temperature change of 4 to 5 degrees Celsius until the end of the 21<sup>st</sup> century (CH2018, 2018). RCP 8.5 projects an average temperature increase of 3,3 to 5,4°C in Switzerland until the end of the 21<sup>st</sup> century (BAFU, 2021). The RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 6 scenarios have not been

considered in this study, as the goal was to examine irrigation water availability of the future under most severe climate change.

Table 1 The 18 model chains used in the study, characterized by the global circulation model (GCM), the regional circulation model (RCM), the resolution and the representative concentration pathway used.

|    | GCM              | RCM               | Resolution | Scenario |
|----|------------------|-------------------|------------|----------|
| 1  | ICHEC-EC-EARTH   | CLMcom-CCLM5-0-6  | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 2  |                  | DMI-HIRHAM5       | EUR-11     | RCP 8.5  |
| 3  |                  | DMI-HIRHAM5       | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 4  |                  | KNMI-RACMO22E     | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 5  |                  | SMHI-RCA4         | EUR-11     | RCP 8.5  |
| 6  |                  | SMHI-RCA4         | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 7  | MOHC-HadGEM2-ES  | CLMCOM-CCLM4-8-17 | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 8  |                  | CLMcom-CCLM5-0-6  | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 9  |                  | KNMI-RACMO22E     | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 10 |                  | SMHI-RCA4         | EUR-11     | RCP 8.5  |
| 11 |                  | SMHI-RCA4         | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 12 | MPI-M-MPI-ESM-LR | CLMcom-CCLM5-0-6  | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 13 |                  | SMHI-RCA4         | EUR-11     | RCP 8.5  |
| 14 |                  | SMHI-RCA4         | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 15 | MIROC-MIROC5     | CLMcom-CCLM5-0-6  | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 16 |                  | SMHI-RCA4         | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 17 | CCma-CanESM2     | SMHI-RCA4         | EUR-44     | RCP 8.5  |
| 18 | NCC-NorESM1-M    | SMHI-RCA4         | EUR-44     | RCP 8.5  |

### 2.1.3 Catchments

Each model chain provided runoff projections at the outlet of every catchment existing in Switzerland at an average size of 150 km<sup>2</sup>. A catchment is defined as the area where the water measured or projected at a certain point, its outlet, originates from. Thereby generally applies that the larger the catchment is, the larger is the runoff at its outlet (Blanc & Schädler, 2013). In Switzerland, 22'213 base catchments of on average 1.8 km<sup>2</sup> exist. Here, they have been aggregated to a size of on average 150 km<sup>2</sup>, which results in a total of 311 catchments. Hence the runoff projections were given for 311 catchments in each model chain.

### 2.1.4 Periods

To define future time horizons consistently with previous climate research in Switzerland, and thus make it possible to compare the projected runoff to projected climate variables such as temperature and precipitation, the periods used in this study were chosen according to the CH2018 climate scenarios for Switzerland. These periods consist of the so-called reference period from 1981 to 2010, the period with 2035 as the central year (2020 – 2049), the period with 2060 as the central year (2045 – 2074) and the period with 2085 as the central year (2070 – 2099). The period with 2035 as the central year was not included in this study, as the change in signal compared to the present state is expected to be small,

considering that the period started in 2020. The periods used will from now on be referred to as the reference period (1981-2010), the 2060 period (2045-2074) and 2085 period (2070-2099).

## 2.2 Pre-processing of the map

Next to the projected runoff, maps containing the base catchments and their corresponding outlets were used. These maps were provided as shapefiles by the Federal Office for the Environment FOEN. Before being able to conduct the main calculations and the mapping, the given data first had to be pre-processed in ArcGIS. The main steps conducted are displayed in a flow chart (*figure 4*). As previously discussed, the projected runoff was available for 150 km<sup>2</sup> sized catchments. The base catchments hence had to be aggregated to this size by using the two given parameters H1 and H2, which describe the hierarchy of each base catchment in its environment. Inside each 150 km<sup>2</sup> catchment, the base catchment with the lowest hierarchy was identified by searching for the lowest value in H1. This corresponds to the catchment all the water from the 150 km<sup>2</sup> catchment flows to. Consequently, the outlet of this base catchment was assumed to also be the outlet of the 150 km<sup>2</sup> catchment (step 1, figure 4).

During the pre-processing, some of the given 150 km<sup>2</sup> catchments and their outlets have been classified as unsuitable for further analysis. This concerned 150 km<sup>2</sup> catchments of which multiple base catchments lie at the same hierarchical level, and therefore no outlet could be identified as the main outlet of the 150 km<sup>2</sup> catchment. This case occurred for example in catchments lying next to lakes, where various rivers enter the lake. In addition, some catchments comprising a lake have been removed, as the risk of water scarcity has been assumed to be low in areas where large water reservoirs exist close by. Furthermore, some very small catchments were included in the runoff projections but have not been attributable to any of the catchments in the map. Of the 311 existing 150 km<sup>2</sup> catchments, 286 have therefore been included in the further processing.

## 2.3 Pre-processing of the runoff projections

As further runoff calculations had to be conducted in the unit of litres per second, but the projected runoff was provided in millimetres of water per day, the projected runoff first had to be converted to the required unit. As millimetres per day is a spatially independent unit but litres per second is not, the area comprising all the water upstream first had to be calculated for each outlet. Thereby, this not only included the area of the 150 km<sup>2</sup> catchment itself, but the area of all the 150 km<sup>2</sup> catchments which lie hierarchically above this 150 km<sup>2</sup> catchment, and where the water thus flows through before reaching the 150 km<sup>2</sup> catchment containing the outlet of interest. This area was then multiplied with the projected runoff, to go from millimetres to metres, and subsequently square metres of water per day, before calculating litres per day and ultimately daily averaged litres of water per second. The time series was then separated into the 3 periods of interest, and subsequently the main calculations could be started.

## 2.4 Calculating Q347 and QMin

As a basis for computing the future water availability for irrigation in agriculture, Q347 and QMin were computed from the future runoff projections presented above. Q347 characterizes the amount of water “which, averaged over ten years, is reached or exceeded on an average of 347 days per year and which is not substantially affected by damming, withdrawal or supply of water” (The Federal Assembly of the Swiss Confederation, 1991). It corresponds to the 95%-percentile of daily runoff values averaged over 10 years. Here, to yield one Q347 value per time series, Q347 has been averaged over each corresponding 30-year period.

The calculated Q347 served as a basis for computing QMin, the so-called minimum residual water flow. As defined by the water protection act of Switzerland, QMin is the minimum water level in a water course needed to ensure, among other things, good water quality, good conditions for organisms to live in, and sufficient water depth (Water Protection Act, 2021). If water levels fall below QMin, the retrieval of water is forbidden. QMin has therefore been taken as a threshold for assessing the water resource availability from rivers for agriculture in the future. The relation between QMin and Q347 changes depending on the size of the river and is shown in *table 2*. For small rivers, proportionally larger amounts of water compared to the total runoff are needed to ensure the requested standards than for large rivers.

*Table 2 The relationship between Q347 and QMin (Source: The Federal Assembly of the Swiss Confederation, Federal Act on the Protection of Waters (1991)).*

| Q347  | QMin           |
|---|----------------|
| up to a flow rate Q347 of 60 l/s                | 50 l/s         |
| and for each further 10 l/s of flow rate Q347   | 8 l/s ,        |
| for a flow rate Q347 of 160 l/s                 | 130 l/s        |
| and for each further 10 l/s of flow rate Q347   | 4.4 l/s more,  |
| for 500 l/s of flow rate Q347                   | 280 l/s        |
| and for each further 100 l/s of flow rate Q347  | 31 l/s more,   |
| for 2,500 l/s of flow rate Q347                 | 900 l/s        |
| and for each further 100 l/s of flow rate Q347  | 21.3 l/s more, |
| for 10,000 l/s of flow rate Q347                | 2,500 l/s      |
| and for each further 1000 l/s of flow rate Q347 | 150 l/s more,  |
| from 60,000 l/s of flow rate Q347               | 10,000 l/s .   |

## 2.5 Change in critical days with water scarcity per year

To get an idea of how often water retrieval from rivers for irrigation will be prohibited in the future, the number of days on which the averaged runoff values fall below the 30-year period averaged QMin were counted. This was done by comparing the projected runoff to QMin and deciding for each day if it lies below or above QMin using a loop in R Studio. The number of days on which the projected

runoff lies below  $Q_{Min}$  have then been aggregated for each 30-year period and subsequently been divided by 30 to yield better interpretable yearly averages. The resulting output will be treated as critical days with water scarcity per year. To further review the temporal evolution of critical days with water scarcity per year, the change between each of the two future periods compared to the reference period was computed from the mean of all model chains in RStudio. The results were then illustrated on maps.

## 2.6 Maps

To visualize the geographic pattern of the results, maps showing the change in critical days with water scarcity per year, as well as the percentage change in  $Q_{347}$  between the two future periods and the reference period were created in ArcGIS. The percentage change in  $Q_{347}$  was used as  $Q_{347}$  is a stable value over each time series and therefore well represents long term trends of runoff. The results were depicted using a river shapefile provided by Swisstopo, the Federal Office of Topography, which is based on the VECTOR200 two-dimensional landscape model at a spatial resolution of 1:200'000. It contains, among other things, information on "class", which categorises the rivers according to their size and is given in numbers from 4 (large) to 9 (small).

In a first step, the projected runoff in litres per second,  $Q_{347}$  and critical days with water scarcity per year from the mean of all 18 projections have been connected to the outlet they correspond to. By using a spatial join, this data was then transmitted from each outlet to the river section lying closest to it, as this marks the river section the runoff projections can be attributed to. In a further step, the data was extrapolated to all the river sections having the same class inside the same 150 km<sup>2</sup> catchment as the initial river section, because the class was an indicator given in the shapefile for the size of a river and it was assumed that runoff values are similar for similarly sized rivers. All the river sections which did not belong to the same class have then been removed from the original shapefile.

## 2.7 Comparison of measured vs. simulated runoff

To validate the runoff projections, daily measured runoff at 28 gauging stations (*figure 5*) was compared to the control data of the simulated daily runoff at the same location for the reference period from 1981 to 2010. The stations have been chosen by comparing a shapefile showing the location of all available gauging stations to the outlets of the 150 km<sup>2</sup> catchments and extracting the ones which lie no further than 500 metres apart. 59 stations have been chosen that way, but in the end, only 28 stations were used due to different reasons. Some gauging stations and outlets that were matched did not belong to the same river, some gauging stations did not contain measurements over the whole required reference period, or there were gaps in the time series, and for some stations, no measurements could be provided by the Federal Office for the Environment.

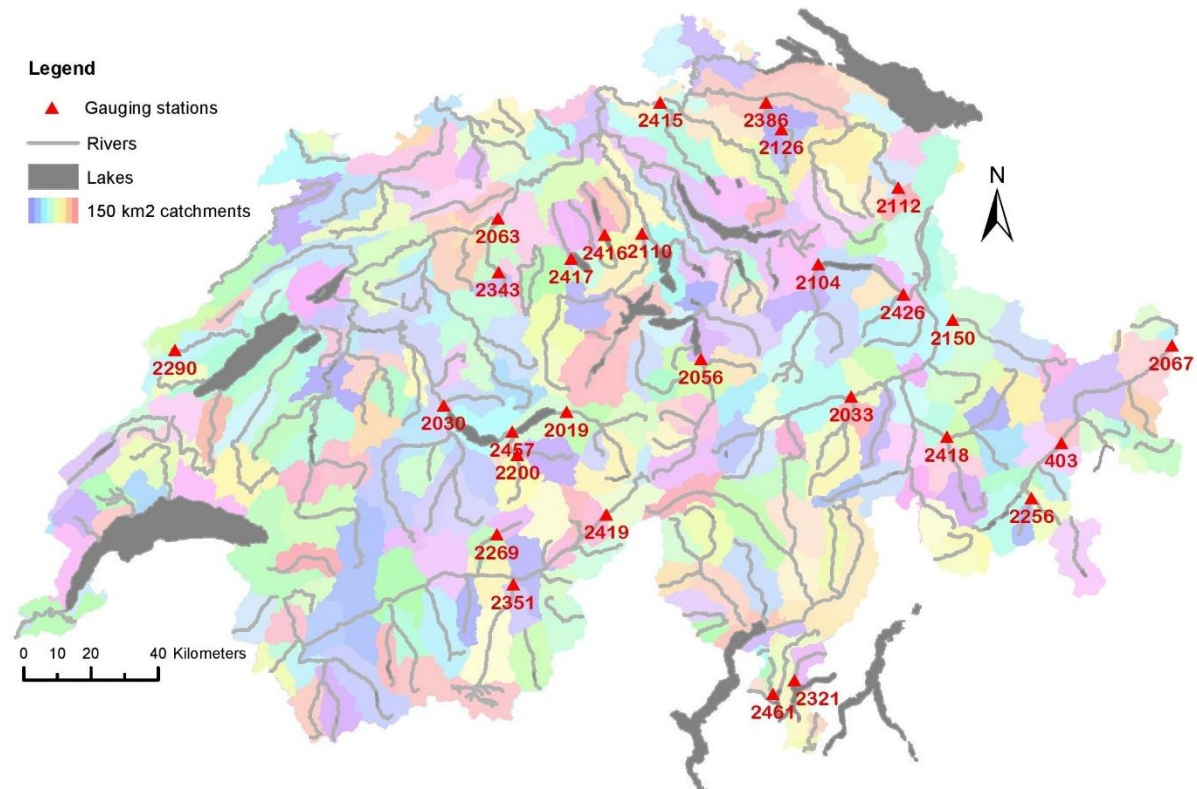


Figure 6 Map of Switzerland showing the 311 150 km<sup>2</sup> catchments, the river sections and the 28 gauging stations providing historical measurements of runoff.

The time series of measured daily runoff in litres per second from 1980 to 2010 has been compared to the simulated daily runoff in litres per second for each of the stations by computing goodness of fit measures with the hydroGOF package in R. The two computed goodness of fit measures are the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) and the Percent Bias (PBIAS). The Nash Sutcliffe efficiency (NSE) is “a normalized statistic that determines the relative magnitude of the residual variance (“noise”) compared to the measured data variance (“information”)” (Zambrano-Bigiarini, 2020). It thus provides information on how well the projected data fits the measurements with an index that ranges from minus infinity to + 1. Values between minus infinity and 0 indicate that the mean of the measurement fits better to the measurement than the simulation and values of 1 stand for a perfect match between simulation and measurement. Values of 0 indicate that the observed mean and the simulation predict the measurement equally well. The percent bias (PBIAS) “the average tendency of the simulated values to be larger or smaller than their observed ones”, whereby 0 would be the optimal fit, negative values indicate an underestimation of the values, and positive values indicate an overestimation of the values by the simulation (Zambrano-Bigiarini, 2020). The result can be seen in *appendix A.2*.

## 2.8 Evaluation of the resource indicator

To evaluate the performance of taking QMin as threshold between allowed and prohibited water retrieval, retrieval regulations for four rivers (*figure 6*) during the period from 2011 to 2020 in the canton



of Vaud have been contrasted to the measured runoff and the simulated runoff over the historic period in the respective rivers. The retrieval regulations were provided by the Office for the Environment of the canton of Vaud in terms of occasional factsheets (*appendix A.4*) that have been published as information for farmers. Thereby, each factsheet entailed a list of all the rivers water is usually retrieved from, and for each river it was indicated if currently water retrieval is possible, restricted, or prohibited. Each factsheet was valid until a new factsheet was released, and they were only published during the months when irrigation usually took place, namely from May until October. In total, 159 fact sheets were subsequently obtained for the period of 2011 to 2020. Before this period, no factsheets existed, as water retrieval was not regulated back then.

To compare the regulations to the control data and measurements, the restrictions were gathered for each river for which control data and historical measurements existed. This resulted in ten potential rivers. Only Aubonne, Broye, Menthue and Venoge have been thoroughly assessed, as the other six were never affected by any restrictions during the whole time series, such that a comparison of runoff values at prohibited and possible retrieval days could not be done. The historical measurements and control data each have been split into either prohibited (“interdit”) or possible (“ok”) water retrieval by grouping the runoff values according to the time series of retrieval regulations. The resulting data has then been plotted in a density plot in RStudio together with QMin.

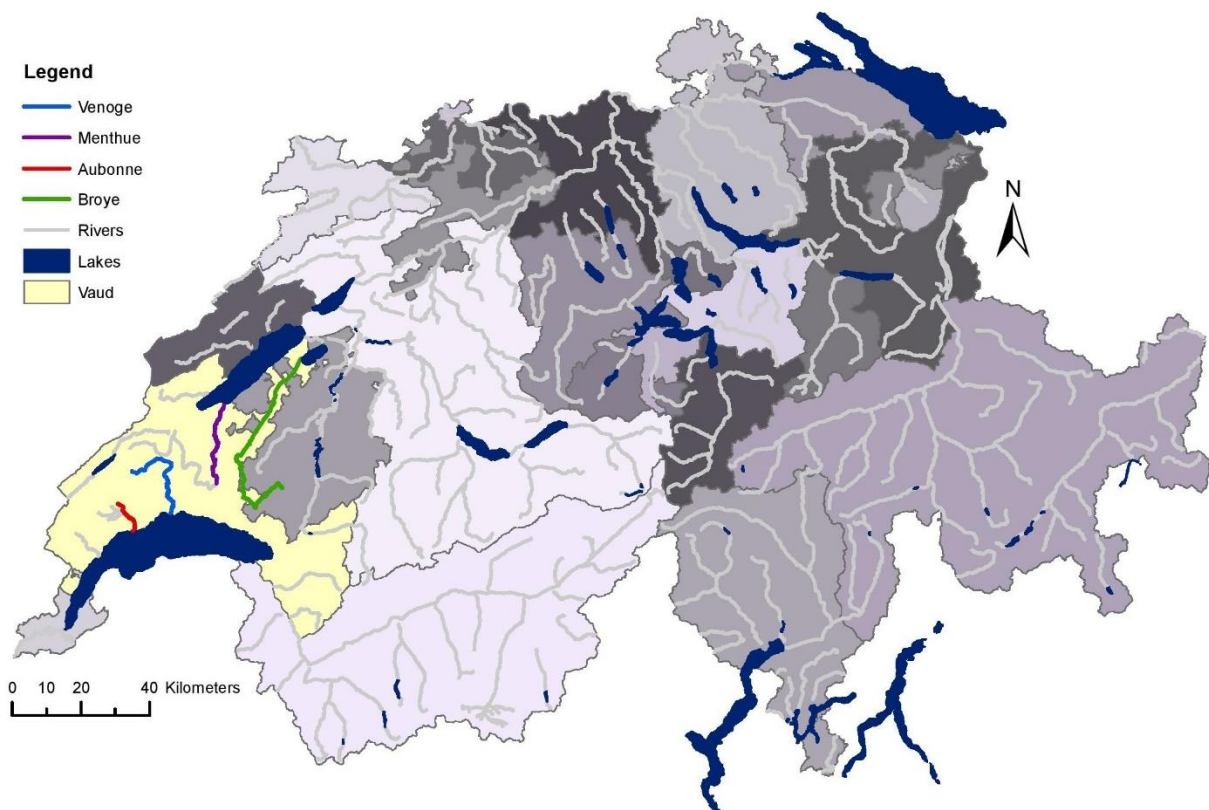


Figure 7 The location of the canton of Vaud (yellow) within Switzerland and the four rivers used to evaluate the resource indicator: Venoge (blue), Menthue (violet), Aubonne (red) and Broye (green).



## 2.9 Interviews

To address the second and third research question, information about current irrigation practices, water scarcity problems and potential solutions have been gathered by conducting interviews with 4 farmers of the canton of Vaud. The canton of Vaud has been selected as it was known that previously water scarcity problems have been reported (Klein, Holzkämper, Calanca, & Fuhrer, 2014; Lehmann & Finger, 2013). The contacts of the farmers have been provided by the Office for the Environment of the canton. These farmers were chosen as they all retrieve irrigation water from rivers, and they previously encountered problems with water scarcity.

The interviews were conducted according to the principle of objective hermeneutics. This method was developed by Ulrich Oevermann and claims to be suitable for every kind of sociological investigation (Reichertz, 2004). It is a qualitative, case-oriented method arguing that one single case should already provide information on general patterns and specific circumstances, while it is not looking to standardize statements. The representativeness therefore is not in focus, but rather the authenticity of each case (Mann, 2007).

The questions were chosen as openly as possible. Also, the number of questions has been held to a minimum to ensure that on one hand the flow of speech of the interviewee is not interrupted, and on the other hand there is enough room for other topics the farmer wants to address. The main questions asked were:

- What is the present state of water scarcity in your case?
- Which problems arise from water scarcity?
- How are you dealing with those problems?
- If water scarcity becomes more severe in the future, what additional problems could arise?
- Which other measures could help to deal with it?

## 3 Results

In the following, the maps showing the percentage change in Q347 and the change in critical days per year from the reference period to the 2060 period and the 2085 period are presented and described. Furthermore, the results are shown in relation to the regimes and regime types each of the rivers belongs to. Of the total 8715 river sections which have been included in the study, 3772 belong to the Swiss Plateau and Jura regime, 3852 to the Alpine regime, 1054 to the Southern Alpine regime and 37 do not belong to any of the regimes as they lie within areas with unspecified regime as depicted in *figure 1*.

### 3.1 Percentage change in Q347: Reference period - 2060 period

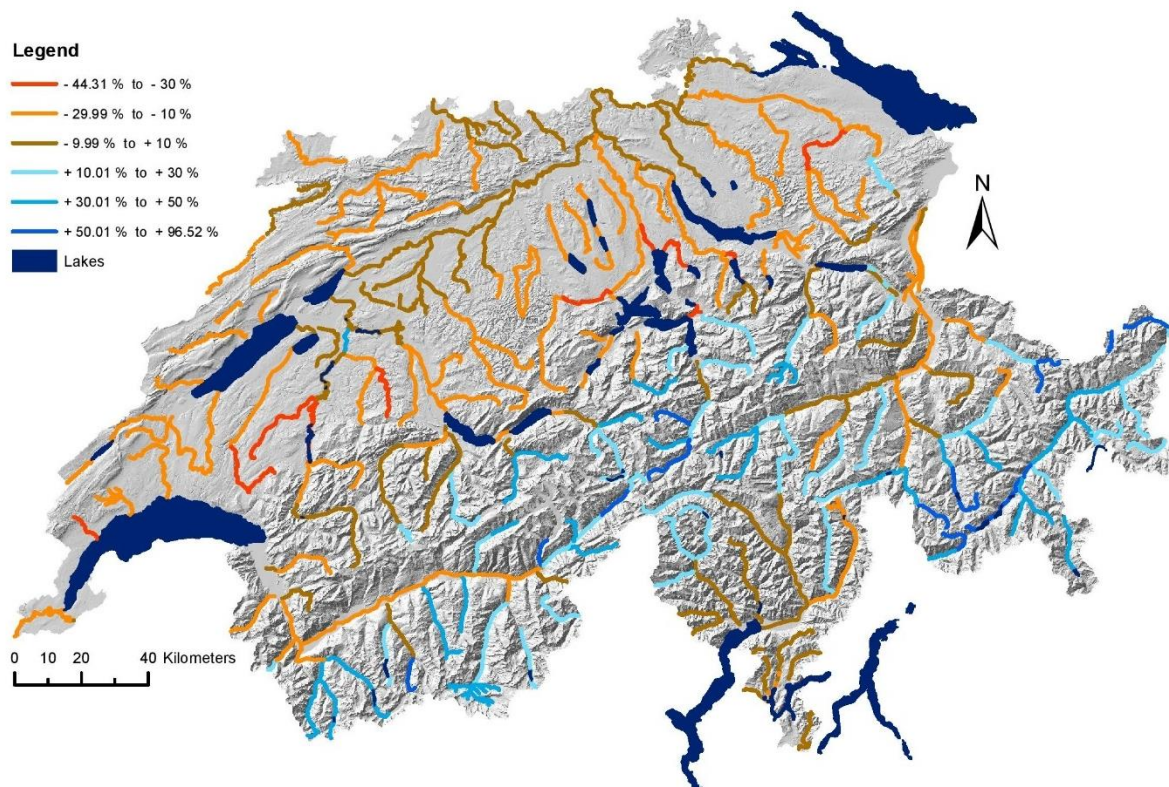


Figure 8 The percentage change in Q347 from the reference period to the 2060 period

The percentage change in Q347 from the reference period compared to the first future period 2060 ranges from a decrease of 44 % to an increase of 96 %. As can be seen in *figure 7*, strong regional differences exist. Most of the percentage increase shown in blue colours seems to happen in the Alps with only a few exceptions in the Swiss Plateau and Jura region. One of these is located in Western Switzerland, downstream of two merging rivers which show a decrease in runoff further upstream, but which on the way flow through reservoirs that might be responsible for the buffering of runoff reductions.

Minor changes between – 10 to + 10 % depicted in brown are dispersed over different parts of the country, such as the north, some Alpine rivers, and the Southern Alpine region. These values are expected for more than one fourth of all the river sections displayed and can be found in all regime types except for “a-glaciaire” of the Alpine regime. While minor decreases in Q347 (orange) can be found in all regimes, larger decreases (red) are only projected within the Swiss Plateau and Jura regime.

Of the three main regimes, the largest increase in Q347 is projected for the Alpine regime, with a mean value of 20.5 %. For the Southern Alpine regime, a slight increase of on average 3.9 % is expected, and for the Swiss Plateau and Jura regime, the mean change shows a decrease of -15 %.

When it comes to the regime types, a mean percentage increase in Q347 is projected for all the Alpine regime types and the “nival méridional” regime type of the Southern regime, with a maximum for the “a-glaciaire” regime type (35.6 %). Then follow “b-glaciaire” with 29.9 % and “a-glacio-nival” with 29.6 %. A decrease is projected for the remaining types, and most pronounced for “Nivo-pluvial préalpin” (- 19.2 %), “pluvial supérieur” (- 19.1 %) and “nivo-pluvial jurassien” (- 16.2 %).

### 3.2 Percentage change in Q347: Reference period - 2085 period



Figure 9 The percentage change in Q347 from the reference period to the 2085 period.

The percentage change in Q347 from the reference period to the 2085 period is shown in *figure 8*. ranges from a decrease of 71 % to an increase of 146 %, and thus entails a larger span than the percentage change in Q347 to the 2060 period. Therefore, two more groups have been included: the strongest decrease of more than 50 % is depicted in dark red, and the strongest increase of more than 100 % is depicted in dark blue. It can be seen that in comparison to the 2060 period, a lot more river sections are projected to undergo either strong negative or positive changes and only very few are left with a small change of – 10 to + 10 %. Also, more river sections are projected to experience a decrease rather than an increase in Q347 compared to the 2060 period.

Rivers which have previously been projected to undergo only little changes in the Southern Alps, the Rhone valley and large areas of the Swiss Plateau and Jura region are now also touched by



decreases of up to  $-50\%$ . A clear band of decreasing Q347 is also visible along the Pre-Alps in the north, and while values between  $-30$  to  $-50\%$  can also be found in other regions, values between  $-50$  and  $-71\%$  only exist along this axis. An increase in Q347 is again projected for rivers in the Alpine regime. For some rivers, the increase is even more pronounced than for the 2060 period. Especially in the canton of Graubünden, more than a doubling in Q347 is expected in some areas.

The mean change in Q347 keeps the same sign in every regime compared to the 2060 period, but it does change in magnitude. It is again most positive for the Alpine regime with a mean increase in Q347 of about  $+20\%$ , and it is most negative for the Swiss Plateau and Jura regime with a mean decrease of  $-31.8\%$ . For the Southern Alpine regime, a mean decrease of  $-7.7\%$  is projected. For the regime types, the largest increase again can be found in “a-glaciaire” with  $+47.5\%$  of Q347, then follows “b-glaciaire” with  $+32.8\%$  and “a-glacio-nival” with  $+30.9\%$ . The largest decrease is projected for “Nivo-pluvial préalpin” with  $-38.6\%$ , then “pluvial supérieur” with  $-37.5\%$  and third for “nival de transition” with  $-32.27\%$  instead of “nivo-pluvial jurassien” (2060 period).

### 3.3 Change in critical days with water scarcity per year: Reference period - 2060 period

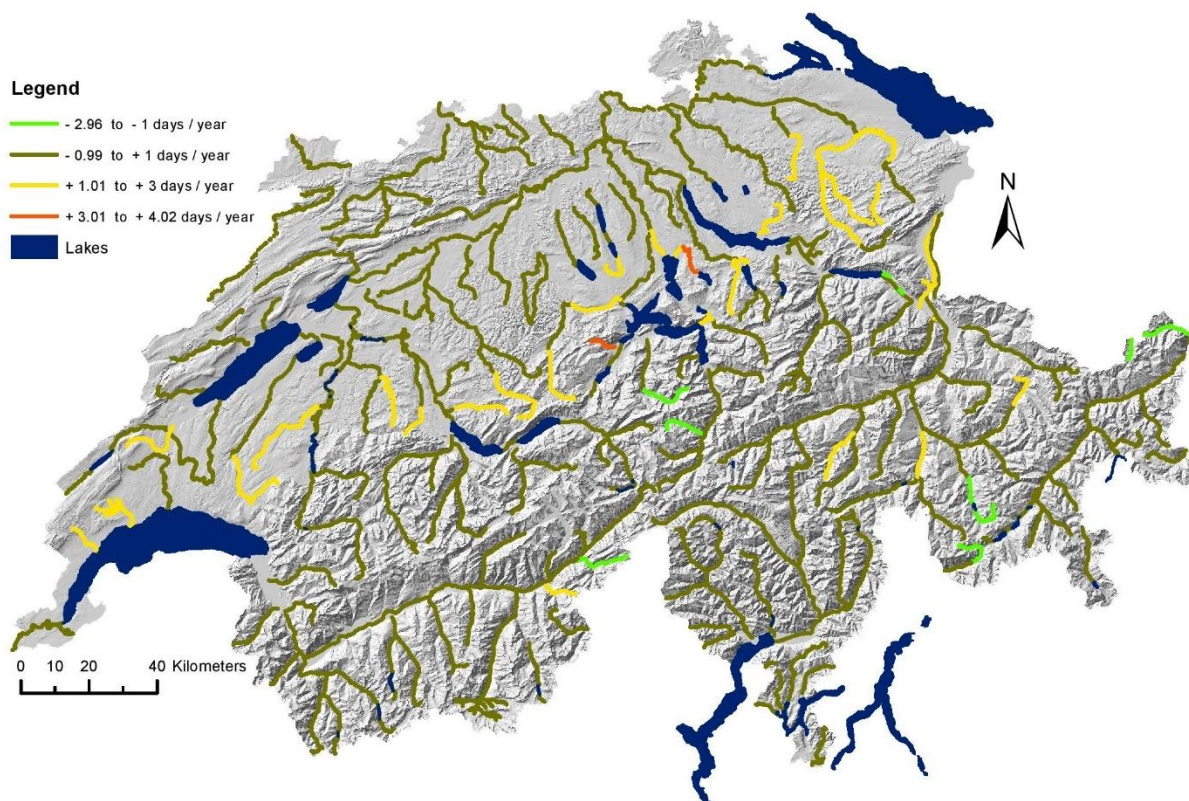


Figure 10 The change in critical days with water scarcity from the reference period to the 2060 period.

The change in critical days with water scarcity per year from the reference period to the 2060 period ranges from a decrease of 2.96 days to an increase of 4.02 days. As can be seen in *figure 9*, most regions are only expected to undergo small changes of  $-1$  to  $+1$  day. Only a few river sections will experience a decrease in critical days, namely especially headwaters in the Alps. The majority of the increase of 1.01 to 3 days is found consistently with the percentage reduction in Q347 along the Pre-Alps, while individual river sections in the Alps and the Swiss Plateau and Jura region are also affected. This concerns some sections in the canton of Graubünden, in eastern Switzerland, and along the lake of Geneva. An increase of critical days of 3.01 to 4.02 days is only found for two river sections along the Pre-Alps in central Switzerland.

A mean change in critical days with water scarcity of  $-0.12$  is projected for the Alpine regime. For the Swiss Plateau and Jura regime an increase in critical days with water scarcity of on average 0.43 is expected, and for the Southern Alpine regime, the change shows a small increase of on average 0.04 days. Thereby, the largest mean decrease in critical days with water scarcity is expected for the “a-glacio-nival” regime type with  $-0.25$  days per year, then follow “nivo-glaciaire” ( $-0.19$ ) and “b-glacio-nival” ( $-0.18$ ). The largest mean increase is projected for the “nivo-pluvial préalpin” regime with  $+0.73$  days, “pluvial supérieur” with  $+0.7$  days and “nival de transition” with  $+0.6$  days.

This is not consistent with the ranking of regime types when it comes to projections of percentage change in Q347 until the 2060 period. While for the increase in Q347, the regime types “a-glaciaire” and “b-glaciaire” ranked first and second, they only rank 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> when it comes to the decrease in critical days. In contrast, the three regime types with top decreases in critical days ranked third in increase of Q347 (“a-glacio-nival”), seventh (“nivo-glaciaire”) and fourth (“b-glacio-nival”). The first two top regime types when it comes to an increase in critical days are consistent with the ranking for the decrease in Q347, while the third regime type “nival de transition” ranked fourth for Q347.

### 3.4 Change in critical days with water scarcity per year: Reference period - 2085 period

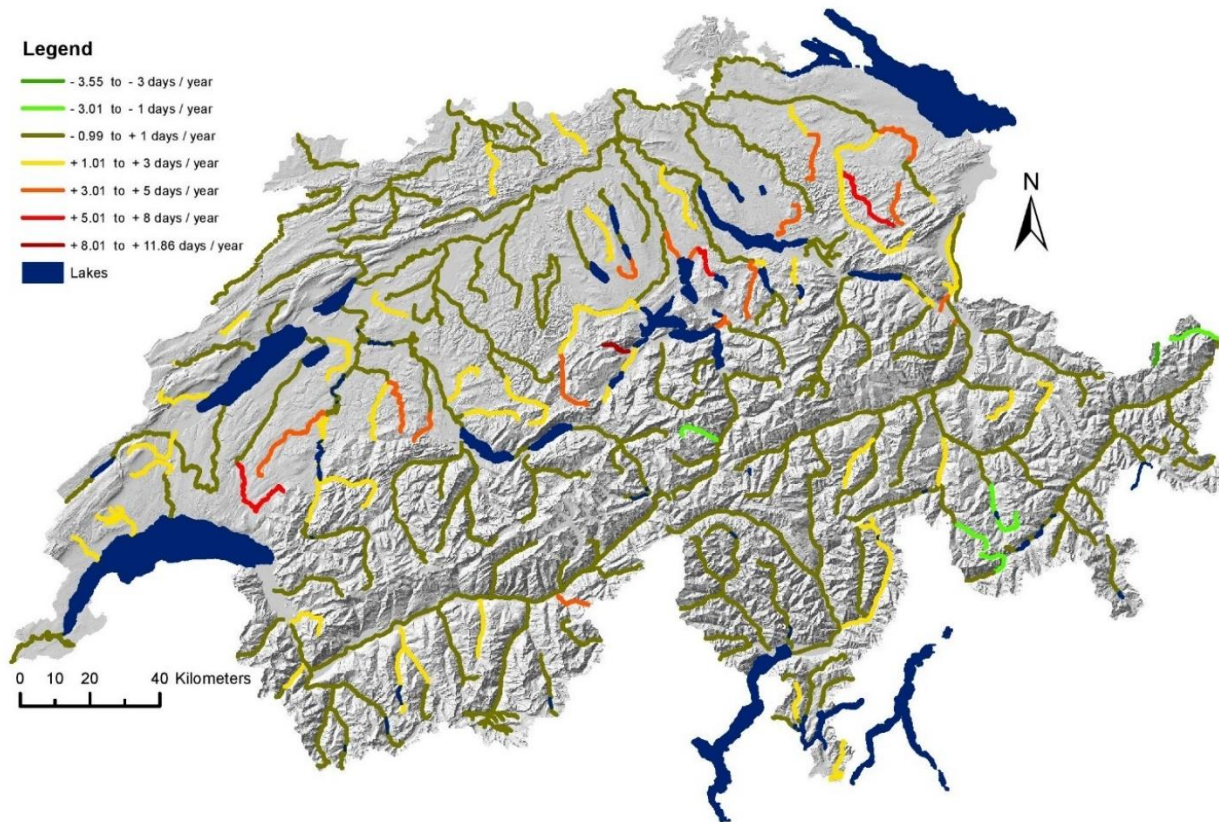


Figure 11 The change in critical days with water scarcity from the reference period to the 2085 period.

The change in critical days from the reference period to the 2085 period (figure 10) ranges from - 4 days to + 12 days and is therefore more pronounced in both signs, especially the increase, compared to the 2060 period. Thereby, more regions are affected by an increase in critical days than before. In parts of western Switzerland, the northern boundaries, the Alps and the Southern Alpine region, the increase in critical days now reaches values of up to + 3, where previously only a little change was projected. Stronger increases in critical days are expected for river sections along the Pre-Alps that previously had a projected increase of up to 3 days. Only 4 rivers are expected to reach an increase of 5 to 8 days. For one river in central Switzerland, the increase reaches up to 11.86 days. When looking at the differences between individual years, the change in critical days with water scarcity can be much more extreme. The river Broye is for example expected to undergo a maximum of 20 days with water scarcity in one year during the 2085 period compared to a simulated minimum of 0 days in one year in the reference period, leading to a maximum increase of 20 days towards the end of the century. The mean increase in critical days with water scarcity from the reference period to the 2085 period on the other hand is 7.3 days per year.

The signal showing a decrease in critical days remains for some river sections in the 2085 period. Only for one river section in the very east of Switzerland within the canton of Graubünden, the decrease reaches values of 3.55 days. For the remaining rivers with decreasing critical days, the values lie between 1 and 3 days. Others that previously had a decrease now show little change of  $-1$  to  $+1$  day.

In contrast to the mean change in critical days with water scarcity from the reference period to the 2060 period, the mean change from the reference period to the 2085 period is positive for all three main regimes and all regime types. Thereby, the increase is highest for the Swiss Plateau and Jura regime with on average 1.15 days, then follows the Southern regime with 0.43 days and ultimately the previously negative change of the Alpine regime with now  $+0.23$  days.

The largest increase in critical days with water scarcity can now be found for the “pluvial supérieur” regime type with 1.89 days, the “nivo-pluvial préalpin” regime type with 1.78 days and the “nival de transition” regime type with 1.58 days. The first two regime types thus switched places compared to the 2060 period (first “nivo-pluvial préalpin”, then “pluvial supérieur”). The lowest increase in critical days with water scarcity is expected for the “a-glacio-nival” regime type with 0.09 days, followed by “nivo-glaciaire” with 0.1 days and “b-glacio-nival” with 0.2 days. The ranking thus stays the same as for the 2060 period.

While the ranking of the regime types for increasing days with water scarcity is consistent with the decrease in Q347 projected until the 2085 period, the ranking for decreasing days with water scarcity is not consistent with the increase in Q347. The same change occurs as within the 2060 period.



### 3.5 Model chain variability

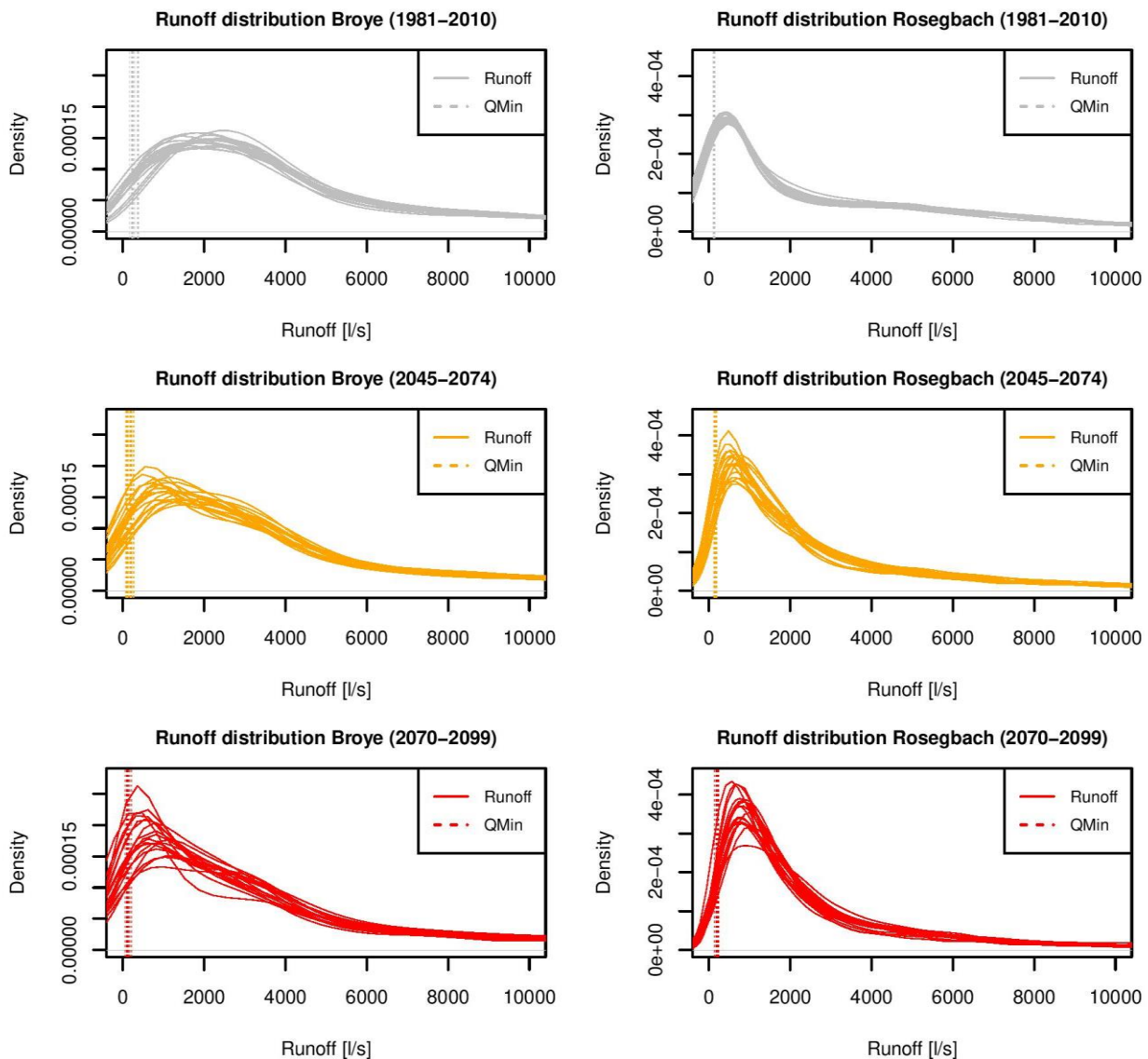


Figure 12 Density plots of the runoff according to each of the 18 model chains and QMin, for the reference period (gray), the 2060 period (orange) and the 2085 period (red) shown for the rivers Broye (left) and Rosegbach (right).

In *figure 11*, the change in runoff distribution and QMin for the two rivers Broye and Rosegbach is shown according to the 18 model chains for the three periods. The two rivers have been chosen, as they both show a strong change in Q347 over time. Broye, which lies within the Swiss Plateau and Jura regime is projected to undergo a substantial reduction in Q347, while Rosegbach in the Alpine regime is projected to undergo a strong increase in Q347. For both rivers it is visible how uncertainty concerning the runoff between the model chains increases over time, as the range between the 18 model chains becomes larger. The uncertainty is most pronounced for the runoff values around the peak of the distribution.



For Broye, the peak of the distribution shifts from higher to lower runoff values, lies closer to the QMin values and becomes more pointed over time. Also, QMin is projected to decrease. In the reference period, QMin ranges from 161.5 to 391 l/s, in the 2060 period from 63 to 278.7 l/s, and in the 2085 period from 50 to 216.6 l/s. The model chain signals differ by 229.5 l/s in the reference period, by 215.7 l/s in the 2060 period and by 166.6 l/s in the 2085 period. Thus, the agreement between the model chains increases towards the end of the century.

For Rosegbach, the distribution of runoff becomes more pointed, while the density of higher flows of above around 5000 l/s decreases over time. In contrast to Broye, the peak of the distribution slightly shifts towards higher runoff values. The uncertainty between the model chains increases towards the end of the century especially around the peak of the distribution. QMin ranges from 107.1 to 141.9 l/s in the reference period, from 115.6 to 192.8 l/s in the 2060 period and from 132.6 to 218.6 l/s in the 2085 period. The model chain signals differ by 34.8 l/s in the reference period, by 77.2 l/s in the 2060 period and by 86 l/s in the 2085 period. Unlike for Broye, QMin is therefore projected to increase for Rosegbach until the end of the century, while the agreement between the model chains decreases with time, leading to increasing uncertainty.

### 3.6 Evaluation of the resource indicator

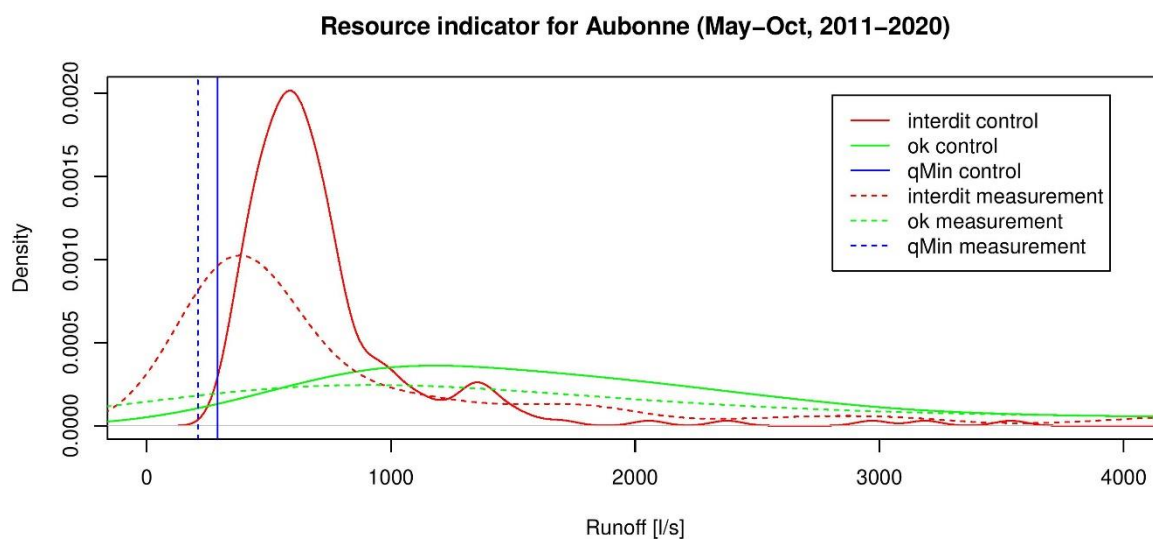


Figure 13 Density plot of the runoff values in the river Aubonne from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and simulated runoff data based on historic climate input information (solid).

When comparing control data and measurements for the time series from 2011 to 2020 according to the given authorisations (“ok”) and restrictions (“interdit”) for the river Aubonne, some differences become evident. As shown in *figure 12*, while the distribution of the control data at days with restrictions (solid red line) shows a strong peak at above 500 l/s and many small peaks from 1000

l/s onwards, the distribution of the measurements (dashed red line) consists of a smaller main peak at values below 500 l/s and entails a larger distribution. For the days with authorized water retrieval, both measurements (dashed green line) and control data (solid green line) show a very wide distribution, while the measurements again find their peak at lower values than the control data. QMin of the control data (291 l/s) is higher than QMin of the measurements (209.9 l/s). QMin does not show a clear distinction between days with restrictions and days with authorisations as should be the case to use QMin as a reliable resource indicator. Instead, for both data QMin lies further left than the main peak of both authorisation and restriction. This indicates that restrictions have been implemented at runoff values higher than QMin. For both measurements and control data, values overlap between authorisation and restriction. Thus, there is no clear runoff value that served as a threshold between authorisation and restriction in the past. Further examination of the difference between simulated and measured runoff has been conducted for 28 stations spread over Switzerland. The table showing these differences is displayed in the Appendix. Also there, sometimes large differences between simulated and measured runoff exist, as the model has not been calibrated region specifically.

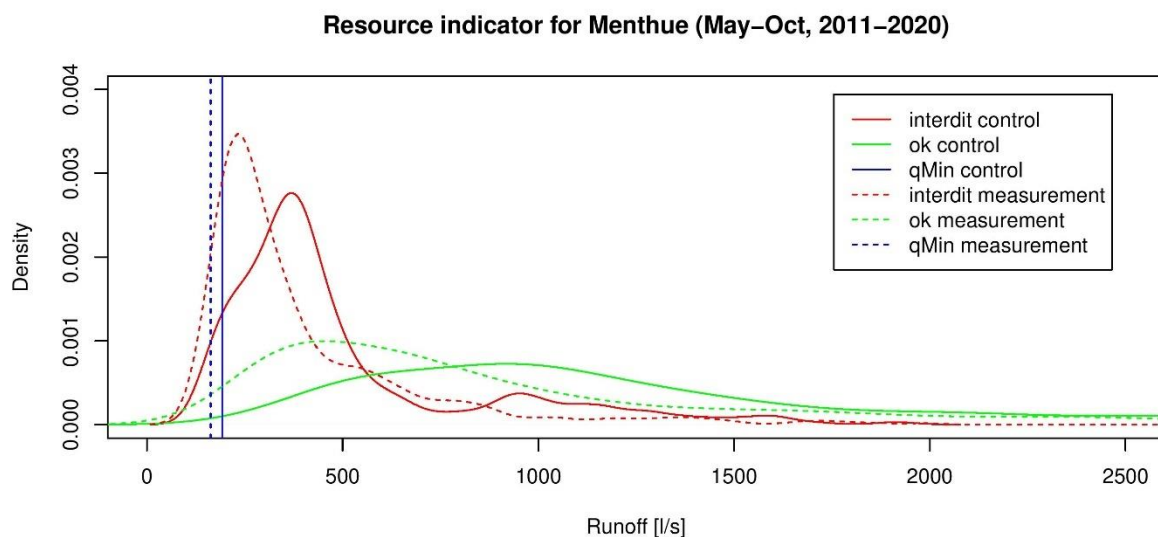


Figure 14 Density plot of the runoff values in the river Menthue from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid).

For Menthue (figure 13), the comparison between control data and measurement shows a similar pattern as for Aubonne. Both for days with authorisation and days with restrictions the peak of the distribution lies at lower values for the measurements than for the control data. Additionally, the distribution is wider for the control data than for the measurements, and therefore the peaks of the measurements are more pronounced. Again, both for the measurements and the control data, values at authorisation and restriction overlap. The peak of restriction values lies closer to QMin for the measurements than for the control data. QMin of the measurements is smaller (163 l/s) than for the

control data (192.4 l/s), but the difference is rather small. Again, QMin does not serve as a clear separator between authorisation and restriction, but it lies to the left of the peaks of both restrictions and authorisations. Thus, restrictions have been implemented at values above the regulated residue water quantities.

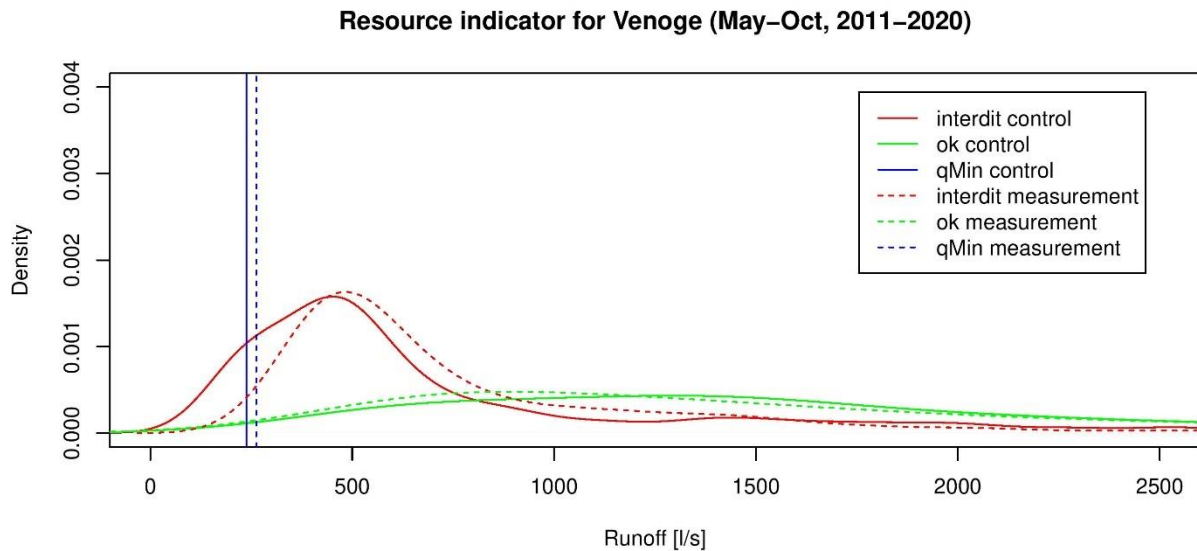


Figure 15 Density plot of the runoff values in the river Venoge from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid).

For Venoge (figure 14), measurements and control data fit better for both restrictions and especially authorisations than for Aubonne and Menthue. This time, QMin is lower for the control data (237.7 l/s) than for the measurements (262.4 l/s), but the difference between the two is very small with not even 25 l/s. QMin still lies at lower values than the restriction values and therefore does not separate well between authorizations and restrictions. Runoff values at restrictions and authorisations also overlap, especially for values up to 1000 l/s.

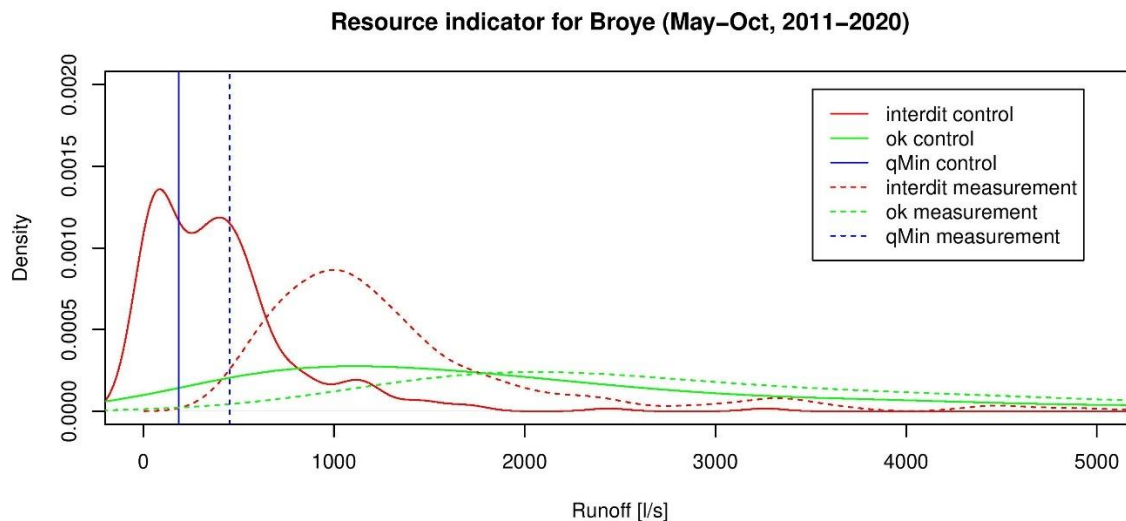


Figure 16 Density plot of the runoff values in the river Broye from 2011 to 2020 at days with authorized water retrieval (green), restricted water retrieval (red) and QMin (blue) according to historical measurements (dashed) and control data (solid).

For Broye (figure 15), the control data generally shows lower values than the measurements, like it was the case for Venoge. Especially the values at days with restrictions show large differences between control data and measurements. While the main part of the distribution lies at much lower values for the control data than for the measurements, the control data is also two-peaked, while the measurements are one-peaked. QMin of the control data is a lot smaller (185.5 l/s) than QMin of the measurements (452.1 l/s). One of the two peaks of the control data thereby lies on the left side of the corresponding QMin, which indicates that for these values, QMin is a good resource indicator. Values with authorised water retrieval again show a much broader distribution than values with restricted water retrieval and lie at higher values than their counterparts.

### 3.7 Interviews

In the following chapter, the most important findings of the interviews with the four farmers are presented. Information on the farmers can be found in table 3. The findings are structured by the most relevant topics of regulations, water scarcity, alternative water resources, crops, irrigation strategy and the timing of irrigation. The full interview transcripts are listed in the appendix.

Table 3 The four farmers and the village where they live, the river where they retrieve water from and the crops they mainly produce.

| Farmer          | Village    | River           | Crops                |
|-----------------|------------|-----------------|----------------------|
| Ludovic Gatabin | Vullierens | Venoge          | Potatoes, vegetables |
| Pierre Mayor    | Grandcour  | La petite Glâne | Vegetables           |
| Alain Jaquemet  | Corcelles  | Arbogne, Broye  | Tobacco              |
| Andreas Bühler  | Oppens     | Sauteru         | Vegetables, cereals  |

### 3.7.1 Regulations

*« C'est l'État qui décide, donc c'est le garde-faune qui décide le niveau de la rivière si on peut irriguer ou pas. Donc on est vraiment... On est le premier échelon à être interdit quoi, en cas de sécheresse. Donc ça, c'est un peu problématique, justement par rapport aux cultures. Et puis, il n'y a pas vraiment de moyens de lutte, disons on ne peut pas, voilà, du moment qu'on a la restriction, on a plutôt une perte de récoltes par rapport à ça quoi. On ne peut rien faire actuellement, c'est un risque qu'on prend nous »*

- Ludovic Gatabin

With state-regulated residue water quantities, farmers are strongly limited in the amount of water they can withdraw from rivers. Ludovic Gatabin says in the statement above, that in case of drought, agronomists are among the first to face prohibitions of water use. In these times with restricted water availability, farmers need to find a way to organise themselves. In some local communities, water retrieval is coordinated by irrigation associations, which determine who is allowed to pump water at which time to fulfil the requirements. In the village of Alain Jaquemet for example exists one allowance to retrieve water from the smaller river Arbogne, and two allowances to retrieve water from the larger river Broye. This means that three farmers of the village are permitted to pump water at the same time. Each allowance corresponds to about 50 cubic metres per hour. In case of dry conditions, restrictions first apply to the smaller river, and for the larger river, restrictions are usually made by first giving one allowance instead of two, and later permitting irrigation only during the night. According to Pierre Mayor in Grandcour, there are two allowances for his local community to pump water in the river la petite Glâne, which each consist of 800 litres per minute, or 48 cubic metres per hour.

### 3.7.2 Water scarcity

*«...Und das ist einer kantonalen Bewilligung unterlegen und wenn der Wasserstand zu tief ist, und vor allem wenn die Wassertemperatur zu hoch ist, dann wird diese Bewässerung zuerst beschränkt und irgendwann total eingestellt. Und das ist seit 2003, wo wir einen Hitzejahr hatten und zum ersten Mal diese Probleme auftauchen, ist es zirka vierzehn Mal passiert, das heißt eigentlich zirka 75 Prozent der Jahre wird früher oder später die Bewässerung für uns verboten aus diesem Oberflächengewässer. Und das heißt, wir müssen dann aus Trinkwasserreserven unsere Kulturen bewässern, im Freiland, und das ist mit Mehrkosten verbunden. Und das ist schlecht. »*

- Andreas Bühler

Restrictions or bans are declared when water levels are too low, but even more often because the water is overheating, which worsens the living conditions for fish and other organisms in the water. Andreas Bühler, who retrieves water from a small river called Sauteru in Oppens, reports that since first water scarcity problems arose in the exceptionally hot year 2003, in about 75 percent of the following years until present, water retrieval from the Sauteru was prohibited at some point during the growing season.

*« Alors... Donc ça fait 20 ans qu'on... qu'on a commencé à arroser hein, exactement, et puis..., on doit constater quand même que sur les 20 ans, on va plutôt vers une, une augmentation des interdictions d'arrosage. »*

- Pierre Mayor

Pierre Mayor also noticed that since he started to irrigate his fields 20 years ago with the first establishment of potato plants, restrictions have rather become more numerous. According to Alain Jaquemet, the first restrictions for retrieving water in the river Broye are usually implemented from mid-July on. The problem with rivers is also that water availability changes quite fast. Once there is a lot of rain or a thunderstorm, water levels rise quickly, and already the next day it can be empty again, says Alain Jaquemet.

### 3.7.3 Alternative water sources

In case that water retrieval from rivers is restricted or even completely prohibited, the farmers must find other sources to be able to irrigate. One possibility is to access the drinking water grid. But even though they are allowed to pump water from the communal system and the water availability is ensured throughout the year, many problems come with it.

*« ...Oui mais l'eau du réseau souvent c'est vrai que ça je ne l'ai pas dit mais l'eau du réseau c'est près du village, où on a les champs c'est trop loin, déjà. On a plus de champs... Si on a les champs le long de la rivière, on ne peut pas amener de l'eau, c'est trop loin. Si c'est plus que 500 mètres, 700 mètres après, c'est trop loin. Donc souvent, quand il y a interdiction d'arroser on arrête d'arroser, et puis c'est fini. »*

- Alain Jaquemet

As described by Alain Jaquemet in the statement above, sometimes the point of access to the communal water grid is too far away from the fields if the distance is more than 500 to 700 metres. Then, they just stop irrigating as soon as it's prohibited to take water from the river. Also, he says that the allowance is restricted to the night with 500 cubic metres per night for one farmer at a time. This is not much he states, but it still helps to prevent the worst. The retrieval of water from the communal water grid often poses a much higher cost than the retrieval from rivers.

*«...dann beziehen wir von der Gemeinde Wasser, das aber weiter von Lausanne bezogen wird, über das Netz, und das wird dann mit zwei Franken pro Kubikmeter verrechnet, plus 50 Rappen Zusatz, weil die das auch zusätzlich pumpen müssen. [...] Ja, wir rechnen aus dem Bach pumpen mit der Amortisation der eigenen Installation ist der Kubikmeter, Ich sage jetzt mal so zwischen 70 und 80 Rappen bis ein Franken ist das erträglich, und wenn es dann auf 2 Franken 50 geht, gibt es für uns eigentlich nur noch die Lösung, zu sortieren, was wir... Was ist überlebenswichtig und was nicht.»*

- Andreas Bühler

Andreas Bühler says that while taking water from the Sauteru costs around 70 to 80 cents per cubic metre, taking water from the communal drinking water grid which brings water from Lausanne costs 2 francs and 50 cents per cubic metre. When only this option is left, they need to decide which crops are most important to keep and abandon other varieties for which additional irrigation would

become too expensive. Also Ludovic Gatabin says that from the water grid, one night of irrigation on one hectare of land costs 750 francs, while pumping water from the river Venoge costs 50 francs, considering the payment for the license and the fuel needed for the pump. For potatoes for example, he says that irrigation purely from the water grid is much too expensive, as the selling price is too low.

*« Disons que la rivière ça sera de plus en plus problématique à avoir de l'eau grâce à la rivière, disons... ça sera plutôt voilà à étudier la possibilité tirer des conduites d'eau qui viennent de la ville de Lausanne. [...] Ça, ça, ça sera le seul moyen mutuellement de contrer justement cette pénurie d'eau. Parce que les rivières à long terme, ça va devenir difficile à... voilà. »*

- Ludovic Gatabin

In the long-term, Ludovic Gatabin sees no future in continuing to retrieve water from the rivers, but rather in constructing water pipes which carry the water from the lake of Geneva to the fields. Alain Jaquemet also believes in water supply from lakes. He is currently involved in the proposal of a project which would allow to build pipes coming from the lake of Neuchâtel and to provide water for a large area of around 4000 hectares in the Broye region. Once this project is reality, which is not clear as it is also very costly to implement, pumping water from the rivers would become history, he states.

*« Parmi les solutions, ben je m'étais dit on fait un, un lac artificiel sur nos terres, mais là on se heurte à la problématique des... des, de l'aménagement du territoire, qui ne voit pas d'un bon œil qu'on utilise la surface agricole pour faire un lac. On pourrait faire un petit lac à la fois qui... Style un peu biotope, mais dans lequel on peut quand même puiser de l'eau. C'est là où, des fois, il faudrait qui... un petit peu de bon sens qui permet de relier des aspects écologiques et des aspects quand même agronomiques qui sont là, si on veut faire du légume, on a besoin d'eau. »*

- Pierre Mayor

### 3.7.4 Crops

*« ...enfin ce sont des solutions qui sont des solutions pour faire de... de la pomme de terre, de la... du tabac. Si on enlève ces deux productions, si on enlève la frite et la fumée, je pense qu'on parle plus tellement d'arrosage. »*

- Pierre Mayor

Some of the crops are more water intensive than others. Pierre Mayor states that if there were no potatoes and tobacco, he thinks we would not be speaking about irrigation anymore. Thus, a possibility to oppose the need for irrigation and thereby handle the problem of water scarcity would be to plant crops which are not as sensitive to heat stress. Alain Jaquemet says he needs to irrigate his tobacco until around the 10th of August, depending on the year. As this coincides usually with the timing of most restrictions, this sometimes poses a problem.

*« Après, peut être que justement, nous on peut jouer sur des variétés qui sont peut-être moins sensibles au stress, au stress hydrique. C'est ce qu'on fait maintenant actuellement, c'est qu'on on sélectionne des variétés qui sont très courte végétation. Soit on utilise des variétés, par exemple, elles ont souvent 150 jours ou des variétés à 80/90 jours ou avec des petits tubercules. Ça veut dire qu'on n'a pas besoin de faire grossir la patate sur juillet et août. [...] Donc je dirais c'est notre lutte, disons que c'est plutôt par rapport à la variété de légumes ou de pommes de terre qu'on choisit*

*d'implanter. »*  
- Ludovic Gatabin

Ludovic Gatabin chooses varieties which are characterized by short vegetation periods of either 150 days or 80 to 90 days, or varieties which have small tubers. In the case of potatoes, as being very water intensive, they do not need to be grown over July and August, the months with most water scarcity.

*« ... Il y a certaines cultures le long des cours d'eau et elles vont devoir être abandonnées, tout simplement. On fera peut-être des céréales, des cultures, qu'il n'y a pas besoin d'irriguer quoi. »*  
- Ludovic Gatabin

Some crops might have to be abandoned completely, while planting cereals might become more of a practice. Ludovic Gatabin states that if water scarcity increases, he will probably start to cultivate canola or lucerne.

### 3.7.5 Irrigation strategy

*« Ben par exemple là j'ai un champ de courges au bord de la rivière alors j'ai mis une gaine de goutte à goutte [...] Donc là, par exemple, on économise je ne sais pas, peut-être 30, 40 pour cent d'eau, entre voilà qu'il fait très, très chaud l'été, ça s'évapore très rapidement. Là, on est vraiment sous le plastique dans la terre et puis l'eau elle est, voilà on utilise beaucoup moins d'eau. On arrive à faire des économies d'eau »*  
- Ludovic Gatabin

Another potential solution proposed by Ludovic Gatabin is to use a drip irrigation system instead of water cannons. He states that he installed this system on a field of cucumbers right next to the river, with which he now saves up to 30 to 40 percent of water in comparison to the conventional irrigation system, as less is lost through evaporation in the air. He is convinced that this system is a good measure to counteract water scarcity, but he also says that it's an investment which has to be accounted for. In the case of Alain Jaquemet, who plants a new crop every year on the same field, having to put up a new installation each time is very costly.

*«...Muss man schon sehen, in Spanien wird enorm viel Salat angebaut mit Tropfbewässerung, weil das Wasser ein Problem ist. Die haben aber ganz andere Möglichkeiten im Herbizideinsatz, weil wir in der Schweiz und im umliegenden Ausland haben uns spezialisiert auf die mechanische Unkrautbekämpfung. Und wenn ein Schlauch da drin liegt, geht das eben nicht mehr. Da haben wir dann einen Interessenkonflikt zwischen möglichst menscheitsverträglich zu produzieren mit möglichst wenigen Pflanzenschutzmitteln oder die maximale Wasserersparnis. Das ist eine schwierige Heirat.»*  
- Andreas Bühler

Andreas Bühler also states that half of the water dispersed on the field with water cannons is lost by evaporation. But he says there is a conflict of interest between irrigation and herbicide use when drip irrigation is installed, as in Switzerland, they are specialised in mechanical weed treatment and with



tubes lying on the ground this becomes impossible. Thus, herbicides would have to be used, which again should be held to a minimum.

*«...quand on le fait dans la pratique, on s'aperçoit qu'il y a des problèmes après avec le goutte à goutte pour suivant quelle culture. Il y a des problèmes... il y a des cultures, ça ne pose aucun problème. Elles se prennent bien au goutte à goutte et il y a d'autres cultures, ça ne fonctionne pas, ce n'est pas idéal. Un arrosage par aspersion, pour certaines cultures, il est... c'est ce qui a besoin. »*

- Pierre Mayor

Some crops react well to drip irrigation, and some do not take it well. For some, irrigation with water cannons is just indispensable, states Pierre Mayor. In addition, he speaks of large problems arising when birds are thirsty and start to pick on the tubes in order to access the water, and finally destroy them. There are tubes which are harder and more resistant, but the installation is more difficult, he says. Mister Mayor also informed himself on the potential of subterranean drip irrigation systems, which apparently have already been implemented in some areas in France. These tubes are buried for around 20 years possibly at a depth of 50 centimetres. He says he could imagine that it works with maize, but not for potatoes.

### 3.7.6 Timing of irrigation

*« Alors si on peut arroser la nuit, c'est beaucoup mieux, parce qu'il y a moins d'évaporation la nuit. Si on arrose la journée, c'est vrai quand il fait 30 degrés il y a déjà la moitié qui part. On n'aime pas tellement arroser la journée »*

- Alain Jaquemet

As during the day there is a lot of evaporation, much of the water which is irrigated is lost before reaching the plants. Alain Jaquemet therefore states that he prefers much more to irrigate during the night rather than during the day. This is also supported by Pierre Mayor who says that during the night it is much more profitable due to less wind, less evaporation and less heat.

## 4 Discussion

In the following, the results for the two research questions posed in the beginning and possible limitations are discussed. In addition, the strengths and limitations of this study are assessed and ideas for future research are proposed.

### 4.1 What impact will climate change have on water resources available from rivers for irrigation in Switzerland?

The results presented in this thesis show a clear trend of changing water availability from rivers due to climate change until the end of the 21<sup>st</sup> century under an RCP 8.5 scenario in Switzerland, while the amount and direction of change varies regionally and temporally. Decreasing runoff is projected for large parts of the Swiss Plateau and Jura regime and the lower Southern Alpine regime, and increasing

runoff is projected for some rivers within the Alpine regime and the higher Southern Alpine regime. The strongest decrease in runoff is projected to occur along the Pre-Alps, namely in the regime types “nivo-pluvial préalpin”, “nival de transition” and “pluvial supérieur”, which at an altitude between 700 and 1550 m a.s.l. entail small, mostly snowmelt and rain fed rivers with peak runoff in May and June or March and April. The strongest increase in runoff is expected for the regime types “a-glaciaire”, “b-glaciaire” and “a-glacio-nival” within the Alpine regime. These contain mostly glacier-melt fed rivers at an altitude above 2000 m a.s.l. and in the Alpine regime above 1800 m a.s.l. in the Southern Alpine regime. The regional differences in the signal of changing water availability are in accordance with the findings of many studies that have previously been conducted. BAFU (2021) states that runoff is projected to increase until around 2050 in today’s strongly glacierized catchments (BAFU, 2021). Muelchi et al. (2021b), who used the same hydrological projections under RCP 8.5 like this study to investigate moderate low and high flows, found that moderate annual low flows will appear more frequently in lower lying catchments and less frequently in higher Alpine catchments (Muelchi et al., 2021a). However, Freudiger et al. (2020) declare that towards the end of the century, glacier shrinkage and loss lead to rapidly diminishing runoff (Freudiger et al., 2020). BAFU (2021) confirms that most extreme decreases in annual runoff are projected for today’s glacierized catchments (BAFU, 2021). This only partly agrees with the results proposed in this study, as the maps show that most rivers in today’s glacierized catchments will experience increasing runoff until the end of the century. However, some of the rivers that have increasing runoff until the 2060 period later show a decrease until the 2085 period. As the temporal evolution of runoff in highly glacierized catchments mainly depends on the temporal evolution of glacier melt, these differences could stem from different predictions of the timing of peak glacier melt by the climate models used.

Averaged over the whole country, the results presented in this study show a mean decrease in projected annual runoff. This is supported by Muelchi et al. (2021b) who state that the lacking precipitation in summer and autumn overcompensate for the enhanced snow and glacier melt, resulting in an overall reduction in runoff (Muelchi et al., 2021a). BAFU (2021) confirms this general trend with an average decrease in runoff by – 9 % and states that the causes are decreasing annual precipitation rates, higher ambient temperatures, longer vegetation periods and increased evapotranspiration (BAFU, 2021). The comparison of simulated to measured runoff between 1981 – 2010 has shown that sometimes a large percentage bias between the two exists. Possible reasons are that the hydrological model has not been calibrated region-specifically, that the buffer capacity of lakes and the influence of hydropower plants on runoff is not accounted for by the model. These uncertainties must thus also be considered for the changes in runoff presented according to the projections, but no clear trend of constant overestimation or underestimation of runoff by the model can be identified. Also, the projections must be considered with care, for river sections which emerge directly from lakes, and for river sections which

are influenced by hydropower production as a certain bias can emerge from the buffering of runoff that might occur.

The literature agrees that it is seasonal rather than annual runoff that will undergo the largest transformation. According to BAFU (2021), which is the newest report on the effects of climate change on Swiss water bodies by the Federal office for the Environment, less precipitation, enhanced evapotranspiration, and reduced meltwater input will cause a decrease in runoff of up to 40 % in summer, and up to 20% in autumn under an RCP 8.5 scenario. The strongest reduction is thereby expected in the Swiss Plateau and Jura regime and the Pre-Alps during late summer (BAFU, 2021). This is congruent with the regional annual signal proposed in this study. On the other hand, winter runoff is projected to increase for all regions and especially in highly glacierized catchments (BAFU, 2021; Brunner, Björnson Gurung, Speerli, et al., 2019). This is mostly associated with increasing liquid rather than solid precipitation and the resulting higher direct runoff (Addor et al., 2014).

The change in critical days with water scarcity per year and therefore the change in irrigation water availability shows a similar pattern as the change in runoff. However only small changes are projected for most rivers until the 2060 period, and only later in the century the sign emerges of general increases in days with water scarcity, especially along the Pre-Alps in the Swiss Plateau and Jura regime and the lower lying rivers in the Southern Alpine regime. Very few river sections in the Alpine regime show decreases in critical days. These also have the strongest increase in runoff predicted due to snow and glacier melt. As shown before, summer, when most crops grow, is the season with the largest decrease in runoff projected. In past years with very dry conditions during summer, such as the years 2015 and 2018, water retrieval from rivers have been restricted. Most concerned were the small to mid-sized rivers which make up 80 % of all the rivers in Switzerland (BAFU, 2021). As dry conditions will increase in the future, restrictions might occur more often. The maps show that the rivers with highest increase in critical days with water scarcity are the small rivers along the Pre-Alps. While the mean increase in critical days with water scarcity over the whole periods might only be small for some rivers, the increase in certain years will be much larger. Therefore water scarcity will be a problem in certain areas where in the end, the reduced irrigation water availability will coincide with faster consumption of the soil water storage and higher water demand per plant due to rising temperatures (Fuhrer et al., 2013), which enhances the need for irrigation and the subsequent problematic of water scarcity. Thus, the demand for irrigation will rise by 40 to 50 % under an RCP 8.5 scenario (Hirschi et al., 2020; Holzkämper, 2020), while water availability from rivers is decreasing.

The accuracy of the resource indicator to work as a threshold between unrestricted and restricted water retrieval has been examined in section 3.6. by comparing known restrictions in the canton of Vaud from 2011 to 2020 to the measured runoff values and simulated runoff on these days. The results for the four rivers show that QMin does not serve as a perfect threshold between restrictions and allowance of

water retrieval from rivers, and that restrictions have often been declared at runoff values higher than  $Q_{Min}$ . This implies that other push factors must have existed according to which the restrictions were conducted. As proposed in a conversation with the cantonal authorities of the canton Schwyz, restrictions are often implemented if the water becomes too hot. With warming ambient temperatures, water temperatures are expected to increase in the future, which reduces the amount of oxygen in the water and therefore threatens the ecosystem (Hoffmann, Hunkeler, & Maurer, 2014). Therefore, the number of critical days with water scarcity is subject to uncertainty as also e.g., temperature plays an important role in deciding whether water can be retrieved, and thus restrictions are likely to become more numerous than what is shown in the maps.

## **4.2 How are farmers dealing with water scarcity?**

In case of water scarcity, the farmers would mostly switch to other water sources such as the drinking water net, as this is a fast, effective, and reliable way to quickly counter acute drought conditions. This is supported by findings by Rey et al. (2017), which state that diversified resources usually help in countering water scarcity (Rey, Holman, & Knox, 2017). A strong negative point is that the water pumping from the drinking water net is much more expensive than withdrawing water from rivers. Another way to handle water scarcity is to make water use more effective, which helps in exploiting the available resources to a lesser extent. This can for example be attained by installing drip water irrigation instead of common surface irrigation methods, where lots of water is evaporated in the air before even reaching the ground especially in hot conditions during Summer. Also Zhang et al. (2019) found that drip irrigation is a helpful technology to counter water scarcity (Zhang et al., 2019). According to Zou et al. (2013), these micro-irrigation techniques are also the most climate friendly (Zou et al., 2013). But as stated in the interviews, drip irrigation systems are more complex to install and sustain, and different problems may arise. Birds can damage the tubes when they pick on them to access the water, using machines for treating the fields gets more difficult and for some farmers, the utility of tubes has not been good enough for certain cultures. Alternatively, irrigation is conducted during the night rather than the day, as the factor of evapotranspiration can be minimized and therefore the water is also used more effectively. In the future, finding ways to cope with water scarcity will increasingly become important in Western Switzerland. Gago-Silva et al. (2017) have shown that in a “business-as-usual” scenario, the total agricultural land in Western Switzerland might decrease by 3.3% until 2050 compared to 2009 (Gago-Silva, Ray, & Lehmann, 2017), but the remaining practices will be much more water intensive than before. According to Lehmann and Finger (2013), the water demand of cropping farms might increase by almost 100% in the Broye River Basin under a scenario with monthly temperatures increasing by between 1.8 and 4.4 °C if current water prices and irrigation policies are kept. To help reducing the exploitation of water resources, Lehmann and Finger (2013) have shown that water consumption could be effectively decreased by applying water policies such as enhancing

volumetric water prices or setting a maximum amount of water that can be used for irrigation per year. The negative effects of such policies on farms can be well mitigated by making adjustments in management schemes, while the income of the farmers is still expected to become very low in extraordinarily warm and dry years (Lehmann & Finger, 2013). Other possible future strategies have been found by Klein et al. (2014), who state that using cropped grasslands together with conservation soil management is the best option to maintain productivity which would decrease due to the climate change impacts (Klein et al., 2014). Such strategies might be applied together with current adaptation strategies used by the farmers and further profound measures proposed by the farmers. On one hand, that the cultivation of some water intensive crops will be completely abandoned, and on the other hand, that water will increasingly be pumped from lakes over large distances, to supply many farms and thus provide a more secure water source than rivers.

### **4.3 Strengths and Limitations**

While previous studies have looked at climate change impacts on water resources and agriculture separately, this study goes a step further by combining the two fields of hydrology and agriculture. It contributes novel insights into the water availability for irrigation from rivers specially. By applying the legally binding residue water quantities to future runoff projections, a new index called critical days with water scarcity per year was created. This is the first time that such an index that is specifically important for agriculture is mapped for rivers in Switzerland. Additionally, this study combines theoretical values with practical implementations by providing insights into how farmers currently deal with water scarcity conditions.

This study relies on the newest runoff projections available which were conducted with a climate model that is suitable for mountainous areas like Switzerland. The goal was to show possible worst-case conditions by using the RCP 8.5 scenario. By comparing different periods of the 21<sup>st</sup> century, good insight into the possible temporal evolution of water resources is given. Also, the robustness of the results has been well investigated by looking at the model chain variability, evaluating the resource indicator and comparing projected to measured runoff. These have shown to contain a certain level of uncertainty. The runoff values are prone to both over- and underestimation by the hydrological model, and the number of critical days with water scarcity is likely to become greater than shown in the results.

While regional changes in annual runoff are well represented in the results, seasonal differences, year-to-year variability and model chain specific results are not accounted for but could be helpful in better understanding future water availability for irrigation in agriculture.

The resource indicator computed as the critical days with water scarcity per year has been calculated solely by considering residue water quantities as a factor leading to water retrieval restrictions. However, other circumstances, such as when the water becomes too warm and further

retrieval would worsen the situation, can lead to water retrieval restrictions, as has been proposed by literature and the farmers interviewed. This might increasingly become the case, as projections foresee an increase in temperatures by 4.1 to 7.2 °C in summer until the end of the century under an RCP 8.5 scenario (CH2018, 2018). By including these, the projected water scarcity for irrigation in agriculture would be even more pronounced.

Also, when calculating the total inflowing catchment area for a certain outlet, catchments lying outside of Switzerland have not been included, as no data on runoff and catchment size was available. This thus affects runoff values of catchments along the borders and creates uncertainties in the projected changes in runoff in those areas. By extrapolating the point projection on whole river sections, differences along the river have not been accounted for and the same runoff has been assumed for any location along the same river. Thus, an interpretation of local characteristics must be made with care. The Nash-Sutcliffe efficiency computed for 28 stations has shown how the projections sometimes largely vary from the measurements. This can mostly be traced back to lakes which buffer runoff, hydropower plants which deviate runoff and the bad representation of extremes in the projections. While the conducted interviews give a good insight into day-to-day irrigation practices of farmers in real life, making general statements is not possible with 4 interviewees.

## **4.4 Outlook**

The large differences in runoff changes call for further investigation in local water scarcity conditions from rivers in the future, as this is helpful to implement adequate mitigation and adaptation strategies for specific circumstances. It would be helpful to include seasonal differences in runoff, as these are crucial for understanding water availability during the growing season of crops. Yielding higher spatial resolution of the runoff projections by using region-specific model calibration could help reduce uncertainties. Additionally, other scenarios could be investigated. To account for other factors than residue water quantities influencing water availability for irrigation, water temperatures could be included into future projections. Also, more farmers could be interviewed to expand on the valuable insights about the problems arising from water scarcity and the possible measures that can be and are taken by the farmers. These investigations could become extremely helpful in preparing for future conditions and therefore finding solutions that enable efficient water use, secure farmers' harvest and are affordable in the long term.



## 5 Conclusion

In this thesis, future runoff projections under an RCP 8.5 scenario were studied for 311 catchments of on average 150 square kilometres size in Switzerland. By applying the legally binding residue water quantities to future runoff projections, a new index called critical days with water scarcity per year was created. By conducting interviews with farmers in areas with significant water scarcity today, present problems and solutions could be assessed on a local scale to see how viable they are in the long term. The results show that climate change will lead to a mean decrease in runoff in Switzerland, while runoff is expected to increase in alpine catchments and to decrease in low-lying catchments of the Swiss Plateau and Jura regime and the Southern Alpine regime. Especially small, rain and snow fed rivers will undergo drastic reductions of runoff in the future. The findings highlight that the areas where most crops are cultivated are also the ones where water scarcity will increasingly become a problem when river runoff is used for irrigation. Even more, the summer season will become most susceptible to drought and heat, which further enhances critical conditions for crop production. While ways exist with which water scarcity can be countered, namely by finding other sources, applying appropriate irrigation schedules, or switching to more efficient irrigation strategies, certain crops will have to be completely abandoned as the situation gets more and more severe. The complexity and importance of this problem stresses how finding solutions for increasing water scarcity conditions will become indispensable in the future. This study contributes novel insights into the water availability for irrigation from rivers specifically. This is the first time that such a resource indicator for rivers that is specifically important for agriculture has been mapped for Switzerland. Further investigations into region-specific runoff evolution over the 21<sup>st</sup> century by using region-specific model calibrations could be conducted to enable local interpretability of the findings. Also, more farmers could be interviewed to yield a better understanding of possible mitigation in drought conditions. By analysing possible adaptation strategies and their performance, future conditions could better be prepared for. More research is needed to better identify local needs, enable adequate adaptation to water scarcity, and therefore further make it possible to use water from rivers for irrigation in agriculture in the future.

## 6 References

- Adam, J. C., Hamlet, A. F., & Lettenmaier, D. P. (2009). Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrological Processes*, 23, 962–972. <https://doi.org/10.1002/HYP.7201>
- Addor, N., Rössler, O., Köplin, N., Huss, M., Weingartner, R., & Seibert, J. (2014). Robust changes and sources of uncertainty in the projected hydrological regimes of Swiss catchments. *Water Resources Research*, 50, 7541–7562. <https://doi.org/10.1002/2014WR015549>
- Ayala, A., Farinotti, D., Stoffel, M., & Huss, M. (2020). *Glaciers: Hydro-CH2018 synthesis report chapters: 'future changes in hydrology'*. Hydro- CH2018 project. Bern, Switzerland. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000398099>
- BAFU. (2021). *Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft*. (Umwelt-Wissen). Bern. [https://doi.org/http://www.biodiversity.ch/publications/hotspot/documents/WEBhotspot16.2007\\_DT.pdf](https://doi.org/http://www.biodiversity.ch/publications/hotspot/documents/WEBhotspot16.2007_DT.pdf)
- Begert, M., Stöckli, R., & Croci-maspoli, M. (2019). *Klimaentwicklung in der Schweiz – Vorindustrielle Referenzperiode und Veränderung seit 1864 auf Basis der Temperaturmessung. Fachbericht MeteoSchweiz*.
- Beniston, M. (2003). Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change*, 59, 5–31.
- Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., ... Vincent, C. (2018). The European mountain cryosphere: A review of its current state, trends, and future challenges. *The Cryosphere, Copernicus*, 12(2), 759–794. <https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018>
- Björnsen Gurung, A., & Stähli, M. (2014). *Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Nachhaltige Wassernutzung - Nationales Forschungsprogramm NFP 61*. Retrieved from [http://www.nfp61.ch/SiteCollectionDocuments/nfp61\\_thematische\\_synthese\\_1\\_d.pdf](http://www.nfp61.ch/SiteCollectionDocuments/nfp61_thematische_synthese_1_d.pdf)
- Blanc, P., & Schädler, B. (2013). *Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick*. Bern.
- Brönnimann, S., Appenzeller, C., Croci-Maspoli, M., Fuhrer, J., Grosjean, M., Hohmann, R., ... Thalmann, P. (2014). Climate change in Switzerland: a review of physical, institutional, and political aspects. *WIREs Climate Change*, 5(4), 461–481. <https://doi.org/10.1002/WCC.280>
- Brunner, M. I., Björnsen Gurung, A., Speerli, J., Kytzia, S., Bieler, S., Schwere, D., & Stähli, M. (2019). Beitrag von Wasserspeicher zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit? *Wasser Energie Luft*, 111(3), 145–152.
- Brunner, M. I., Björnsen Gurung, A., Zappa, M., Zekollari, H., Farinotti, D., & Stähli, M. (2019). Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes. *Science of the Total Environment*, 666, 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.169>
- Brunner, M. I., Farinotti, D., Zekollari, H., Huss, M., & Zappa, M. (2019). Future shifts in extreme flow regimes in Alpine regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 4471–4489. <https://doi.org/10.5194/HESS-23-4471-2019>
- Bundesamt für Statistik. (2016). *Landwirtschaftliche Betriebszählung*.
- CH2011. (2011). *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*. Zurich, Switzerland. Retrieved from [www.ch2011.ch](http://www.ch2011.ch)
- CH2018. (2018). *Climate Scenarios for Switzerland*. Zurich.
- Eisenring, S., Holzkämper, A., & Calanca, P. (2021). *Berechnung der Bewässerungsbedürfnisse unter aktuellen und zukünftigen Bedingungen in der Schweiz*. Zürich.
- Fischer, A. M., Keller, D. E., Liniger, M. A., Rajczak, J., Schär, C., & Appenzeller, C. (2014). Projected changes in precipitation intensity and frequency in Switzerland: A multi-model perspective. *International Journal of Climatology*, 35, 3204–3219. <https://doi.org/10.1002/joc.4162>

- Fischer, M., Huss, M., Barboux, C., & Hoelzle, M. (2014). The new Swiss Glacier Inventory SGI2010: Relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 46(4), 933–945. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-46.4.933>
- Freudiger, D., Vis, M., & Seibert, J. (2020). *Quantifying the contributions to discharge of snow and glacier melt. Hydro-CH2018 project*. Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/hydrologie/externe-studien-berichte/quantifying-the-contributions-to-discharge-of-snow-and-glacier-melt.pdf.download.pdf/Quantifying-discharge-snow-glacier-melt.pdf>
- Fuhrer, J. (2012). *Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen*.
- Fuhrer, J., & Calanca, P. (2014). Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse. *Agrarforschung Schweiz*, 5(6), 256–263. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/264129304>
- Fuhrer, J., Holzkämper, A., Klein, T., Tendall, D., & Lehmann, N. (2013). Wasser und Schweizer Landwirtschaft. *Aqua & Gas*, 7/8, 34–39.
- Gago-Silva, A., Ray, N., & Lehmann, A. (2017). Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. *International Journal of Geo-Information*, 6(4), 115. <https://doi.org/10.3390/IJGI6040115>
- Hanzer, F., Förster, K., Nemeč, J., & Strasser, U. (2018). Projected cryospheric and hydrological impacts of 21st century climate change in the Ötztal Alps (Austria) simulated using a physically based approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(2), 1593–1614. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1593-2018>
- Hirschi, M., Davin, E. L., Schwingshackl, C., Wartenburger, R., Meier, R., Gudmundsson, L., & Seneviratne, S. I. (2020). *Soil moisture and evapotranspiration. Hydro- CH2018 project*. Bern, Switzerland.
- Hirschi, M., Michel, D., Lehner, I., & Seneviratne, S. I. (2017). A site-level comparison of lysimeter and eddy covariance flux measurements of evapotranspiration. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 21, 1809–1825. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1809-2017>
- Hoffmann, S., Hunkeler, D., & Maurer, M. (2014). *Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz - Herausforderungen und Handlungsoptionen. Nachhaltige Wassernutzung - Nationales Forschungsprogramm NFP 61*.
- Holzkämper, A. (2020). Varietal adaptations matter for agricultural water use – a simulation study on grain maize in Western Switzerland. *Agricultural Water Management*, 237(106202). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106202>
- Horton, P., Schaeffli, B., Mezghani, A., Hingray, B., & Musy, A. (2006). Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty. *Hydrological Processes*, 20(10), 2091–2109. <https://doi.org/10.1002/hyp.6197>
- Hubacher, R., & Schädler, B. (2010). Wasserhaushalt grosser Einzugsgebiete im 20. Jahrhundert. In *Hydrologischer Atlas der Schweiz*.
- Jacob, D., Benestad, R., Buonomo, E., Gutiérrez, J. M., Haensler, A., Hennemuth, B., ... Zsebeházi, G. (2021). *Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use*.
- Jylhä, K., Fronzek, S., Tuomenvirta, H., Carter, T. R., & Ruosteenoja, K. (2008). Changes in frost, snow and Baltic sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. *Climatic Change*, 86, 441–462. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9310-z>
- Klein, T., Holzkämper, A., Calanca, P., & Fuhrer, J. (2014). Adaptation options under climate change for multifunctional agriculture: a simulation study for western Switzerland. *Regional Environmental Change*, (14), 167–184. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0470-2>
- Köplin, N., Viviroli, D., Schädler, B., & Weingartner, R. (2010). How does climate change affect mesoscale catchments in Switzerland? - A framework for a comprehensive assessment. *Advances in Geosciences*, 27, 111–119. <https://doi.org/10.5194/adgeo-27-111-2010>
- Lehmann, N., & Finger, R. (2013). Evaluating water policy options in agriculture: A whole-farm study for the Broye River Basin (Switzerland). *Irrigation and Drainage*, 62, 396–406. <https://doi.org/10.1002/IRD.1745>

- Lorenz, R., Jaeger, E. B., & Seneviratne, S. I. (2010). Persistence of heat waves and its link to soil moisture memory. *Geophysical Research Letters*, *37*. <https://doi.org/10.1029/2010GL042764>
- Mann, S. (2007). Understanding farm succession by the objective hermeneutics method. *Sociologia Ruralis*, *47*(4), 369–383. <https://doi.org/10.1111/J.1467-9523.2007.00442.X>
- Marty, C., Schlögl, S., Bavay, M., & Lehning, M. (2017). How much can we save? Impact of different emission scenarios on future snow cover in the Alps. *The Cryosphere*, *11*, 517–529. <https://doi.org/10.5194/tc-11-517-2017>
- Mesa-Jurado, M. A., Martin-Ortega, J., Ruto, E., & Berbel, J. (2012). The economic value of guaranteed water supply for irrigation under scarcity conditions. *Agricultural Water Management*, *113*, 10–18. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2012.06.009>
- Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R., & Martius, O. (2021a). Moderate runoff extremes in Swiss rivers and their seasonal occurrence in a changing climate. *Hydrology and Earth System Sciences - Discussions*, 1–28. <https://doi.org/10.5194/hess-2020-667>
- Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R., & Martius, O. (2021b). River runoff in Switzerland in a changing climate-runoff regime changes and their time of emergence. *Hydrology and Earth System Sciences*, *25*, 3071–3086. <https://doi.org/10.5194/hess-25-3071-2021>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2020). Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. *Agronomy*, *10*(8), 1–33. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081120>
- Reichertz, J. (2004). Objective Hermeneutics and Hermeneutic Sociology of Knowledge. In *A Companion to qualitative research* (pp. 290–295). [https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03486\\_1.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03486_1.x)
- Rey, D., Holman, I. P., & Knox, J. W. (2017). Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity. *Regional Environmental Change*, *17*, 1527–1540. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1116-6>
- Rosa, L., Chiarelli, D. D., Sangiorgio, M., Beltran-Peña, A. A., Rulli, M. C., D’Odorico, P., & Fung, I. (2020). Potential for sustainable irrigation expansion in a 3 °c warmer climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *117*(47), 29526–29534. <https://doi.org/10.1073/pnas.2017796117>
- Schädler, B. (2010). Hydrologische Veränderungen und Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in der Schweiz. In *Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich* (pp. 73–88).
- Smith, P. C., Heinrich, G., Suklitsch, M., Gobiet, A., Stoffel, M., & Fuhrer, J. (2014). Station-scale bias correction and uncertainty analysis for the estimation of irrigation water requirements in the Swiss Rhone catchment under climate change. *Climatic Change*, *127*, 521–534. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1263-4>
- Speich, M. J. R., Bernhard, L., Teuling, A. J., & Zappa, M. (2015). Application of bivariate mapping for hydrological classification and analysis of temporal change and scale effects in Switzerland. *Journal of Hydrology*, *523*, 804–821. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2015.01.086>
- The Federal Assembly of the Swiss Confederation. Federal Act on the Protection of Waters (1991). Switzerland.
- Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J., & Weingartner, R. (2009). An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. *Environmental Modelling & Software*, *24*, 1209–1222. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2009.04.001>
- Vogel, M. M., Orth, R., Cheruy, F., Hagemann, S., Lorenz, R., Hurk, B. J. J. M. van den, & Seneviratne, S. I. (2017). Regional amplification of projected changes in extreme temperatures strongly controlled by soil moisture-temperature feedbacks. *Geophysical Research Letters*, *44*, 1511–1519. <https://doi.org/10.1002/2016GL071235>
- Weingartner, R. (2018). *Veränderungen der Abflussregimes der Schweiz in den letzten 150 Jahren*. Bern. <https://doi.org/10.7892/boris.126997>
- Weingartner, R., & Aschwanden, H. (1985). *Die Abflussregimes der Schweiz*. Bern.
- Zambrano-Bigiarini, M. (2020). Package ‘hydroGOF’ - Goodness-of-Fit Functions for Comparison of Simulated and Observed Observed Hydrological Time Series. Retrieved from

<https://github.com/hzambran/hydroGOF>

- Zappa, M., & Pfändler, M. (2009). An optimized grid data set of mean monthly and annual runoff for Switzerland: Coupling modelled data with robust information derived from observations. *Hydrology in Mountain Regions: Observations, Processes and Dynamics*, 56–62. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093172861>
- Zekollari, H., Huss, M., & Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. *The Cryosphere*, 13, 1125–1146. <https://doi.org/10.5194/TC-13-1125-2019>
- Zhang, B., Fu, Z., Wang, J., & Zhang, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.021>
- Zou, X., Li, Y., Cremades, R., Gao, Q., Wan, Y., & Qin, X. (2013). Cost-effectiveness analysis of water-saving irrigation technologies based on climate change response: A case study of China. *Agricultural Water Management*, 129, 9–20. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2013.07.004>

## A. Appendix

### A.1 Mean changes per regime and regime type

Table 4 The mean changes in Q347 and critical days with water scarcity for the different regimes and regime types for all periods.

| Regimes and regime types      | Mean percentage change Q347 |             | Mean change critical days |             |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                               | 2060 Period                 | 2085 Period | 2060 Period               | 2085 Period |
| Alpine regime                 | 20.513446                   | 19.587267   | -0.12472                  | 0.227046    |
| a-glaciaire                   | 35.565791                   | 47.478393   | -0.012291                 | 0.330098    |
| b-glaciaire                   | 29.866655                   | 32.809842   | -0.019459                 | 0.372475    |
| a-glacio-nival                | 29.557265                   | 30.888126   | -0.248372                 | 0.092057    |
| b-glacio-nival                | 26.764802                   | 27.872994   | -0.179857                 | 0.21346     |
| Nivo-glaciaire                | 10.957166                   | 5.702604    | -0.193983                 | 0.105053    |
| Nival alpin                   | 11.949857                   | 6.785222    | -0.087352                 | 0.260028    |
| Swiss Plateau and Jura regime | -15.032612                  | -31.773612  | 0.426446                  | 1.152048    |
| Nival de transition           | -14.019088                  | -32.271146  | 0.609244                  | 1.583396    |
| Nivo-pluvial préalpin         | -19.19551                   | -38.619494  | 0.733243                  | 1.773906    |
| Pluvial supérieur             | -19.05757                   | -37.468658  | 0.705117                  | 1.889914    |
| Pluvial inférieur             | -11.735066                  | -27.327035  | 0.180037                  | 0.61924     |
| Nivo-pluvial jurassien        | -16.17853                   | -30.117764  | 0.364861                  | 0.880371    |
| Pluvial jurassien             | -13.594821                  | -28.726597  | 0.23371                   | 0.807564    |
| Southern Alpine regime        | 3.898661                    | -7.714545   | 0.042747                  | 0.430401    |
| Nival méridional              | 11.374041                   | 3.325122    | -0.009777                 | 0.265492    |
| Nivo-pluvial méridional       | -3.852959                   | -18.598495  | 0.094127                  | 0.481811    |
| Pluvio-nival méridional       | -6.887784                   | -23.802477  | 0.149922                  | 0.87409     |
| Pluvial méridional            | -8.592698                   | -28.441381  | 0.086719                  | 0.87228     |

### A.2 Comparison of measured vs. simulated runoff

Table 5 The Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and percentage bias between measured and simulated runoff for 28 stations.

| River  | Station      | Station-ID FOEN | NSE    | PBIAS % |
|--------|--------------|-----------------|--------|---------|
| Julia  | Tiefencastel | 2418            | -14.94 | 836.2   |
| Inn    | Cinuou-schel | 2403            | -5.1   | 315.3   |
| Seez   | Mels         | 2426            | -2.63  | 102.4   |
| Suhre  | Oberkirch    | 2417            | -1.9   | 2.6     |
| Aabach | Hitzkirch    | 2416            | -1.07  | 9.9     |
| Reuss  | Mühlau       | 2110            | -0.98  | -60.1   |
| Vispa  | Visp         | 2351            | -0.94  | -8.7    |
| Aare   | Murgenthal   | 2063            | -0.72  | -31.4   |
| Aare   | Thun         | 2030            | -0.56  | -49.7   |
| Aare   | Ringgenberg  | 2457            | -0.16  | -35.5   |
| Linth  | Weesen       | 2104            | 0.07   | -23.2   |
| Inn    | Martina      | 2067            | 0.27   | -37.6   |

|                  |                |      |      |       |
|------------------|----------------|------|------|-------|
| Aare             | Brienzwiler    | 2019 | 0.3  | -26.1 |
| Langeten         | Huttwil        | 2343 | 0.36 | 14.7  |
| Glatt            | Rheinsfelden   | 2415 | 0.46 | -6.2  |
| Vorderrhein      | Ilanz          | 2033 | 0.46 | -5    |
| Landquart        | Felsenbach     | 2150 | 0.47 | -29.3 |
| Areuse           | St.Sulpice     | 2290 | 0.57 | -31.3 |
| Reuss            | Seedorf        | 2056 | 0.6  | -7.1  |
| Cassarate        | Pregassona     | 2321 | 0.63 | 12    |
| Rhone            | Reckingen      | 2419 | 0.66 | 13.1  |
| Magliasina       | Magliaso       | 2461 | 0.68 | 14.1  |
| Sitter           | Appenzell      | 2112 | 0.71 | 4.7   |
| Murg             | Wängi          | 2126 | 0.75 | 3.3   |
| Murg             | Frauenfeld     | 2386 | 0.77 | -4.9  |
| Rosegbach        | Pontresina     | 2256 | 0.81 | 18.4  |
| Lonza            | Blatten        | 2269 | 0.87 | -10   |
| Weisse Lütschine | Zweilütschinen | 2200 | 0.87 | 16.7  |

The Nashville Sutcliffe efficiency (NSE) ranges from -14.94 for Julia to 0.87 for Lonza and Weisse Lütschine. 10 of the total 28 stations have negative NSE values, indicating that the mean of the measurement fits better to the measurement than the projection. The three stations with the lowest NSE's are also the ones which have the strongest percent bias (PBIAS), namely an overestimation by the simulation of more than 100 %. For the rivers Suhre and Aabach, NSE's lie below -1, while the percent bias is only very small. 18 stations have positive NSE's and therefore a better match between simulation and measurements.

When it comes to the percent bias, 16 stations have a bias lower than 20 % in either positive or negative direction, of which 13 coincide with the stations with positive NSE's. The smallest PBIAS is found for Suhre, Oberkirch, while the largest is found for Julia, Tiefencastel. The strong overestimation of the runoff in Julia by the simulation can be attributed to the fact that in reality, 90 % of the runoff is turbinated and therefore does not contribute to runoff. The same holds for the station Cinuos-chel by the Inn. Of the Seez, one thirds flows into the Alpenrhein and therefore also does not contribute to the runoff. The biases obtained for Suhre, Oberkirch, Reuss, Mühlau and the four Aare stations might stem from the fact that many lakes lie above the stations, which act as buffers and strongly influence the amount of runoff for the respective rivers. The measurement at Linth in Weesen also occurs after a lake, and hydropower plants act on the runoff. Also, the Vispa is subject to a lot of redirections due to hydropower production.

### A.3 R code

```
#####
##FUNCTIONS:
getQMIN <- function(q347) {
```



```

if(q347 <= 60){
  qMin = 50
} else if (q347>60 && q347 <= 160) {
  qMin = 50 + (8/10)*(q347 - 60)
} else if (q347>=160 && q347 <= 500) {
  qMin = 130 + (4.4/10)*(q347 - 160)
} else if (q347>=500 && q347 <= 2500) {
  qMin = 280 + (31/100)*(q347 - 500)
} else if (q347>=2500 && q347 < 10000) {
  qMin = 900 + (21.3/100)*(q347 - 2500)
} else if (q347>=10000 && q347 < 60000) {
  qMin = 2500 + (150/1000)*(q347 - 10000)
} else {
  qMin = 10000
}
}
qMin
}
#####
#main computation
myDir <- "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/q_wsl/allScenarios/to_annelie/
"

outDir <- "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R Daten/"
allprojections <- list.files("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/q_wsl/allScenarios/to_annelie/
", pattern = "RCP85")
#assign right tezgnr150 number to WSL numbers 1 to 307 identified in centroid shapefile
EZG_centro <- read.table("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/EZGcentro_tez150.txt", header = TRUE, sep = ",")
coln <- matrix(NA, ncol=1, nrow=307)
colnames(coln) <- "ezg"
coln[,1] <- 1:307
ezg_tez150 <- merge(coln, EZG_centro, by.x = "ezg", by.y="ch_500_clb")
ezg_tez150_n <- ezg_tez150[-which(ezg_tez150$ezg == 286),]
ezg_colnames <- ezg_tez150_n$tezgnr150
#load the base area of each tezgnr150
basisgeo_area_m2 <- read.table("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/ArcGIS/basisgeo_area_m2.txt
", header= TRUE, sep = ",")
basisgeo_area_m2 <- subset(basisgeo_area_m2, H1 > 1)
#calculate h1 and h2 for each outlet and thereby calculate new area
h1_colnames <- NULL
h2_colnames <- NULL
area_colnames <- NULL
for(i in 1:length(ezg_colnames)){
  suse <- subset(basisgeo_area_m2,tezgnr150 == ezg_colnames[i] )
  #identify lowest H1 and highest H2 in all the ezgnr belonging to one tezgnr150
  H1min <- min(suse$H1)
  H2max <- max(suse$H2)
  #calculate area of one tezgnr150 by summing over all ezgnr belonging to it
  area_sum_ezg <- sum(suse$Shape_Area)
  h1_colnames <- c(h1_colnames, H1min)
  h2_colnames <- c(h2_colnames, H2max)
  area_colnames <- c(area_colnames, area_sum_ezg)
}
new_H12area <- cbind(ezg_colnames, h1_colnames, h2_colnames, area_colnames)
colnames(new_H12area) <- c("tezgnr150", "H1_new", "H2_new", "area_new")
#load outlets file and bind new area to it
main_outlets <- read.table("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/ArcGIS/main_outlets.txt",
header= TRUE, sep = ",")
outlets <- main_outlets[,-c(13:27)]
outlets <- merge(outlets, new_H12area, by.x = "tezgnr150", by.y = "tezgnr150")
#load all projections and prepare data

```

```

for(i in 1:length(allprojections)){
  data <- read.table(paste0(myDir,allprojections[i],"/ch_500/ch_500_eval.RGS"), header = FALSE, sep = "")
  date <- data[,1]
  year <- as.numeric(substr(date[,1,4])
  month <- as.numeric(substr(date[,1,5,6])
  day <- as.numeric(substr(date[,1,7,8])
  projection_m_d <- sapply(data[,2:308], function(x) as.numeric(x) / 1000)
  outlet_output <- matrix(NA, nrow = length(outlets[,1]), ncol= 11)
  colnames(outlet_output) <- c("EZG150_id", "critical_yearly_ref", "critical_yearly_2060", "critical_yearly_2085",
"delta_2060", "delta_2085", "q347_ref", "q347_2060", "q347_2085", "perc_Q347_2060", "perc_Q347_2085")
#calculate l/s, q347 and qmin
for (j in 1:length(outlets[,1])){
  h1outl <- outlets$H1_new[j]
  h2outl <- outlets$H2_new[j]
  routing_index <- (h1_colnames >= h1outl & h1_colnames < h2outl)
  ezg_largeArea <- sum(area_colnames[routing_index])
  myEZG <- which(ezg_colnames == outlets$tezgnr150[j])
  projection_m3_d <- projection_m_d[,myEZG] * ezg_largeArea
  projection_l_d <- projection_m3_d*1000
  projection_l_s <- projection_l_d/ 86400
  discharge_outlet <- cbind(year, month, day, projection_l_s)
  colnames(discharge_outlet) <- c("year", "month", "day", "runoff_l_s")
  write.table(discharge_outlet, paste0(outDir, "scenario_outputs/outlets/",
allprojections[i], "_",outlets$tezgnr150[j],".txt"), col.names = TRUE, row.names = FALSE)
  #create 3 separate files for the 4 time periods used in CH2018
  modelchain_ref <- data.frame(subset(discharge_outlet, year >=1981 & year <=2010))
  modelchain_2060 <- data.frame(subset(discharge_outlet, year >=2045 & year <=2074))
  modelchain_2085 <- data.frame(subset(discharge_outlet, year >=2070 & year <=2099))
  #calculate 5th percentile for each period
  q347_ref <- quantile(modelchain_ref$runoff_l_s, probs = .05, na.rm = TRUE)
  q347_2060 <- quantile(modelchain_2060$runoff_l_s, probs = .05, na.rm = TRUE)
  q347_2085 <- quantile(modelchain_2085$runoff_l_s, probs = .05, na.rm = TRUE)
  #calculate qMin (threshold of residue water quantity)
  qmin_ref <- getQMIN(q347_ref)
  qmin_2060 <- getQMIN(q347_2060)
  qmin_2085 <- getQMIN(q347_2085)
  #count number of days below threshold and get yearly averages of counts as 30 years periods used previously
(optional)
  critical_yearly_ref <- sum(modelchain_ref$runoff_l_s < qmin_ref)/30
  critical_yearly_2060 <- sum(modelchain_2060$runoff_l_s < qmin_2060)/30
  critical_yearly_2085 <- sum(modelchain_2085$runoff_l_s < qmin_2085)/30
  delta_2060 <- critical_yearly_2060 - critical_yearly_ref
  delta_2085 <- critical_yearly_2085 - critical_yearly_ref
  perc_Q347_2060 <- (q347_2060 - q347_ref)/q347_ref * 100
  perc_Q347_2085 <- (q347_2085 - q347_ref)/q347_ref * 100
  outlet_output[j, 1] <- outlets$tezgnr150[j]
  outlet_output[j, 2] <- critical_yearly_ref
  outlet_output[j, 3] <- critical_yearly_2060
  outlet_output[j, 4] <- critical_yearly_2085
  outlet_output[j, 5] <- delta_2060
  outlet_output[j, 6] <- delta_2085
  outlet_output[j, 7] <- q347_ref
  outlet_output[j, 8] <- q347_2060
  outlet_output[j, 9] <- q347_2085
  outlet_output[j, 10] <- perc_Q347_2060
  outlet_output[j, 11] <- perc_Q347_2085
}
write.table(outlet_output, paste0(outDir, "scenario_outputs/", allprojections[i],".txt"), col.names = TRUE,
row.names = FALSE)
}
#####
#Calculate mean of all projections
setwd("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R Daten/scenario_outputs")
all_outputs_names = list.files(pattern="*.txt")
all_outputs = lapply(all_outputs_names, function(x)read.table(x, header=T))

```

```

names(all_outputs) = all_outputs_names
sum_all_outputs <- Reduce("+", all_outputs)
mean_all_outputs <- sum_all_outputs/18
outlets <- merge(outlets, mean_all_outputs, by.x = "tezgnr150", by.y = "EZG150_id")
write.table(outlets, file = "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/ArcGIS/outlets.txt", col.names
= TRUE, row.names = FALSE)
#####
#Compute density plots of the change in Q347 for the two most extreme stations (largest and lowest percentage
change in Q347)
myDir <- "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/outlets/"
Broye = list.files("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/outlets", pattern = "g73_120683")
Rosegbach = list.files("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/outlets", pattern = "g73_120809")
#list <- list(Broye, Rosegbach)
mylistBroye <- matrix(NA, ncol=18, nrow= 45383)
for(i in 1:length(Broye)){
  data <- read.table(paste0(myDir,Broye[i]), header = TRUE, sep = "")
  mylistBroye[,i] <- data[,4]
  date <- data[1:3]
}
mylistRoseg <- matrix(NA, ncol=18, nrow= 45383)
for(i in 1:length(Rosegbach)){
  data <- read.table(paste0(myDir,Rosegbach[i]), header = TRUE, sep = "")
  mylistRoseg[,i] <- data[,4]
  date <- data[1:3]
}
mylistBroye_dat <- cbind(date, mylistBroye)
mylistRoseg_dat <- cbind(date, mylistRoseg)
par(mfrow=c(3,2), mar = c(4.1, 4.5, 2.3, 1)+0.1)
begin <- c(1981, 2045, 2070)
end <- c(2010, 2074, 2099)
colsTime <- c("grey", "orange", "red")
for(t in 1:3){
  period_Broye <- subset(mylistBroye_dat, year >= begin[t] & year <= end[t], select=-c(1:3))
  q347_Broye <- apply(period_Broye, 2, function(x) quantile(x, probs = .05, na.rm = TRUE))
  qMin_Broye <- NULL
  for(i in 1:length(q347_Broye)){
    qMin_Broye <- c(qMin_Broye, getQMIN(q347_Broye[i]))
  }
  period_Roseg <- subset(mylistRoseg_dat, year >= begin[t] & year <= end[t], select=-c(1:3))
  q347_Roseg <- apply(period_Roseg, 2, function(x) quantile(x, probs = .05, na.rm = TRUE))
  qMin_Roseg <- NULL
  for(i in 1:length(q347_Roseg)){
    qMin_Roseg <- c(qMin_Roseg, getQMIN(q347_Roseg[i]))
  }
  plot(density(period_Broye[,i]), col=colsTime[t], ylim=c(0,0.00028), xlim = c(0,10000), main = paste0("Runoff
distribution Broye ", "(" ,begin[t], "-", end[t], ")"), cex.main = 0.9, xlab = "Runoff [l/s]", cex.lab = 0.9, cex.axis = 0.9,
lwd=1, lty=9)
  for(i in 1:ncol(period_Broye)){
    lines(density(period_Broye[,i]), col=colsTime[t], lty=1, lwd = 0.4)
  }
  for(i in 1:length(qMin_Broye)){
    abline(v = (qMin_Broye[i]), col=colsTime[t], lty = 2, lwd = 0.3)
  }
  legend(x = "topright", legend=c("Runoff", "QMin"), cex = 0.8,
        col=c(paste0(colsTime[t]), paste0(colsTime[t])), lty= c(1,2))

  plot(density(period_Roseg[,i]), type="line", col=colsTime[t], ylim=c(0,0.00045),xlim = c(0,10000), main =
paste0("Runoff distribution Rosegbach ", "(" ,begin[t], "-", end[t], ")"), cex.main = 0.9, xlab = "Runoff [l/s]", cex.lab =
0.9, cex.axis = 0.9, lwd=1)

```

```

for(i in 1:ncol(period_Roseg)){
  lines(density(period_Roseg[,i]), col=colsTime[t], lty=1, lwd = 0.4)
}
for(i in 1:length(qMin_Roseg)){
  abline(v = (qMin_Roseg[i]), col=colsTime[t], lty = 2, lwd = 0.3)
}
legend(x = "topright", legend=c("Runoff", "QMin"), cex = 0.8,
       col=c(paste0(colsTime[t]), paste0(colsTime[t])), lty= c(1,2))
}
#####
#compare control data (2011 to 2020) and interdictions
#tezgnr150 = 120010 : Aubonne
#tezgnr150 = 120175 : Menthue
#tezgnr150 = 120358 : Venoge
#tezgnr150 = 120683 : Broye
myDir <- "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/outlets/"
outDir <- "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R Daten/"
outlets <- read.table("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/ArcGIS/outlets.txt", header=
TRUE, sep = "")
control_data = list.files("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/outlets/", pattern = "control_data")
#install.packages(gtools)
library(gtools)
#install.packages("tidyverse")
library(tidyverse)
library(readxl)
#sort control data in order of tezgnr150 numbers to afterwards bind tezgnr150 names to it
control_data <- mixedsort(control_data)
#choose names for tezgnr150 without duplicates in outlets file
tezgnr150_names <- outlets$tezgnr150[-c(193,221)]

#CONTROL DATA OUTPUT: loop to calculate q347, qmin and critical yearly
control_output <- matrix(NA, nrow = length(tezgnr150_names), ncol= 4)
for (i in 1:length(control_data)){
  data <- read.table(paste0(myDir,control_data[i]), header = TRUE, sep = "")
  control_data_int <- data.frame(subset(data, year >=2011 & year <=2020))
  q347_control <- quantile(control_data_int$runoff_l_s, probs = .05, na.rm = TRUE)
  qmin_control <- getQMIN(q347_control)
  critical_yearly_control <- sum(control_data_int$runoff_l_s < qmin_control)/10
  control_output[i,] <- c(control_data[i], q347_control, qmin_control, critical_yearly_control)
  control_output <- data.frame(control_output)
}
control_output <- cbind(tezgnr150_names, control_output)
colnames(control_output) <- c("tezgnr150", "control_data_name", "q347_control", "qmin_control",
"critical_yearly_control")
#write.table(control_output, "~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/control_data_output_interdictions_2011_2020.txt")
control_output_selection <- control_output %>% filter(tezgnr150_names %in%
c(120010,120683,120175,120358))

#BAFU MEASUREMENTS (m^3/s) for 2011 - 2020
measurement_m3_s <- read_excel("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/BAFU_hist_Daten_Vaud.xlsx")
measurement_m3_s_raw <- measurement_m3_s[, 2:5]
hist_year <- as.numeric(substr(measurement_m3_s$hist_date[,1,4]))
hist_month <- as.numeric(substr(measurement_m3_s$hist_date[,6,7]))
hist_day <- as.numeric(substr(measurement_m3_s$hist_date[,9,10]))
measurement_l_s <- data.frame(measurement_m3_s_raw*1000)

```

```

##recombine l/s measurements with date in year month and days
measurement <- cbind(hist_year, hist_month, hist_day, measurement_l_s)

##extract years 2011 to 2020
measurement_2011_2020 <- subset(measurement, hist_year >=2011 & hist_year <=2020)
measurement_2011_2020_raw <- measurement_2011_2020[, -c(1:3)]
measurement_2011_2020_season <- subset(measurement_2011_2020, hist_month>4 & hist_month<11)

#MEASUREMENT OUTPUT
q347_mes <- apply(measurement_2011_2020_raw, 2, function(x) quantile(x, probs = .05, na.rm = TRUE))
qMin_mes <- NULL
for(i in 1:length(q347_mes)){
  qMin_mes <- c(qMin_mes, getQMIN(q347_mes[i]))
}
critical_yearly_mes <- (colSums(sweep(measurement_2011_2020_raw, 2, qMin_mes, `<`)))/10
measurement_output <- data.frame(cbind(q347_mes, qMin_mes, critical_yearly_mes))

#RESOURCE INDICATOR
VD_Interdictions_pompages_summary <- read_excel("~/mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/VD_Interdictions_pompages_summary.xlsx")
date_pompages <- VD_Interdictions_pompages_summary[1:159,1]
year_pompages <- as.numeric(substr(VD_Interdictions_pompages_summary$date[],1,4))
month_pompages <- as.numeric(substr(VD_Interdictions_pompages_summary$date[],6,7))
day_pompages <- as.numeric(substr(VD_Interdictions_pompages_summary$date[],9,10))
VD_summary <- data.frame(year_pompages, month_pompages, day_pompages,
VD_Interdictions_pompages_summary[,2:13])
VD_indicator_selection <- VD_summary %>% select("year_pompages", "month_pompages",
"day_pompages", "Aubonne", "Menthue", "Venoge", "Broye")
colnames(VD_indicator_selection) <- c("year_pompages", "month_pompages",
"day_pompages", "indi_Aubonne", "indi_Menthue", "indi_Venoge", "indi_Broye")

#CONTROL DATA TIME SERIES (l/s) 2011 - 2020
control_data_all_selections <- list.files(path=~ /mnt/Data-Work-RE/27_Natural_Resources-
RE/271_KLIM_Work/CC_Impacts/Grundlagen/Master_Arbeiten/MSc_Linder/Daten/R
Daten/scenario_outputs/outlets/', pattern
="control_data_2020_RCP85_120010|control_data_2020_RCP85_120175|control_data_2020_RCP85_120358|c
ontrol_data_2020_RCP85_120683")
d = vector(length = 3653)
for (i in 1:length(control_data_all_selections)){
  data <- read.table(paste0(myDir,control_data_all_selections[i]), header = TRUE, sep = "")
  control_data_suse <- subset(data, year >=2011 & year <=2020)
  control_data_raw <- control_data_suse[4]
  d = cbind(d, control_data_raw)
}
control_data_2011_2020 <- data.frame(control_data_suse[c(1:3)], d[c(2:5)])
colnames(control_data_2011_2020) <- c("year", "month", "day", (control_data_all_selections))
colnames(control_data_2011_2020) <- c("year", "month", "day", "ctrl_Aubonne", "ctrl_Menthue", "ctrl_Venoge",
"ctrl_Broye")
#MERGE CONTROL DATA AND RESOURCE INDICATOR
merged <- merge(control_data_2011_2020, VD_indicator_selection, by.x = c("year", "month", "day"),
by.y=c("year_pompages", "month_pompages", "day_pompages"), all.x = TRUE)
merge_c <- merged
for(i in 1:length(merged[,1])){
  for (j in 8:ncol(merged)){
    if((is.na(merged[i,j]) == TRUE) && (i ==1)){
      merged[i,j] <- "ok"
    } else if((is.na(merged[i,j]) == TRUE) && (i !=1)){
      merged[i,j] <- merged[i-1,j]
    }
  }
}
merge_control_indicator <- subset(merged, month>4 & month<11)
}
#COMBINE CONTROL DATA, MEASUREMENT AND INDICATOR

```

```

merge_control_measurement_indicator <- merge(merge_control_indicator, measurement_2011_2020_season,
by.x = c("year", "month", "day"), by.y=c("hist_year", "hist_month", "hist_day"), all.x = TRUE)
#####
###Resource indicator
#AUBONNE
plot(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Aubonne == "interdit"))$ctrl_Aubonne),
type="line", col="red", xlim=c(0,4000), main = "Resource indicator for Aubonne (May-Oct, 2011-2020)",
xlab="Runoff [l/s]")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Aubonne == "ok"))$ctrl_Aubonne),
col="green")
abline(v = (control_output_selection$qmin_control[1]), col="blue")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Aubonne == "interdit"))$hist_Aubonne),
col="red", lty = 2)
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Aubonne == "ok"))$hist_Aubonne),
col="green", lty =2)
abline(v=(measurement_output$qMin_mes[names(qMin_mes) == "hist_Aubonne"]), col="blue", lty =2)
legend(x = "topright", inset= 0.05, legend=c("interdit control", "ok control", "qMin control", "interdit measurement",
"ok measurement", "qMin measurement"),
col=c("red", "green", "blue", "red", "green", "blue"), lty=c(1,1,1,2,2,2))
#MENTHUE
plot(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Menthue == "interdit"))$ctrl_Menthue),
type="line", col="red", xlim=c(0,2500), ylim=c(0,0.004), main = "Resource indicator for Menthue (May-Oct, 2011-
2020)", xlab="Runoff [l/s]")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Menthue == "ok"))$ctrl_Menthue), col="green")
abline(v = (control_output_selection$qmin_control[2]), col="blue")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Menthue == "interdit"))$hist_Menthue),
col="red", lty = 2)
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Menthue == "ok"))$hist_Menthue),
col="green", lty =2)
abline(v=(measurement_output$qMin_mes[names(qMin_mes) == "hist_Menthue"]), col="blue", lty =2)
legend(x = "topright", inset= 0.05, legend=c("interdit control", "ok control", "qMin control", "interdit measurement",
"ok measurement", "qMin measurement"),
col=c("red", "green", "blue", "red", "green", "blue"), lty=c(1,1,1,2,2,2))
#VENOGE
plot(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Venoge == "interdit"))$ctrl_Venoge),
type="line", col="red", xlim=c(0,2500), ylim=c(0,0.004), main = "Resource indicator for Venoge (May-Oct, 2011-
2020)", xlab="Runoff [l/s]")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Venoge == "ok"))$ctrl_Venoge), col="green")
abline(v = (control_output_selection$qmin_control[3]), col="blue")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Venoge == "interdit"))$hist_Venoge),
col="red", lty = 2)
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Venoge == "ok"))$hist_Venoge), col="green",
lty =2)
abline(v=(measurement_output$qMin_mes[names(qMin_mes) == "hist_Venoge"]), col="blue", lty =2)
legend(x = "topright", inset= 0.05, legend=c("interdit control", "ok control", "qMin control", "interdit measurement",
"ok measurement", "qMin measurement"),
col=c("red", "green", "blue", "red", "green", "blue"), lty=c(1,1,1,2,2,2))
#BROYE
plot(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Broye == "interdit"))$ctrl_Broye), type="line",
col="red", xlim=c(0,5000), ylim=c(0,0.002), main = "Resource indicator for Broye (May-Oct, 2011-2020)",
xlab="Runoff [l/s]")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Broye == "ok"))$ctrl_Broye), col="green")
abline(v = (control_output_selection$qmin_control[4]), col="blue")
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Broye == "interdit"))$hist_Broye), col="red", lty
= 2)
lines(density((subset(merge_control_measurement_indicator, indi_Broye == "ok"))$hist_Broye), col="green", lty
=2)
abline(v=(measurement_output$qMin_mes[names(qMin_mes) == "hist_Broye"]), col="blue", lty =2)
legend(x = "topright", inset= 0.05, legend=c("interdit control", "ok control", "qMin control", "interdit measurement",
"ok measurement", "qMin measurement"),
col=c("red", "green", "blue", "red", "green", "blue"), lty=c(1,1,1,2,2,2))

```

## A.4 Factsheets of water retrieval regulations in the canton of Vaud



Département de la  
sécurité et de  
l'environnement  
  
Service des eaux,  
sols et assainissement

**SECHERESSE 2012**  
**INTERDICTION GENERALE DE POMPAGE**  
**DANS LES RIVIERES VAUDOISES**  
**MISE A JOUR DU 5 SEPTEMBRE 2012**  
**Liste des rivières bénéficiant d'autorisations**

MISE A JOUR DU : Mercredi 5 septembre 12h.00  
VALABLE JUSQU'AU : Mercredi 12 septembre 12h.00  
PROCHAINE MISE A JOUR : Mardi 11 septembre 12h.00

|                             |   |                                  |                   |                            |                   |
|-----------------------------|---|----------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| - Arnon                     | : <b>Autorisé</b>   | - Combaz                         | : <b>Interdit</b> | - Nozon                    | : <b>Interdit</b> |
| - Bauminé                   | : <b>Interdit</b>   | - Canal occidental               | : <b>Autorisé</b> | - Orbe                     | : <b>Autorisé</b> |
|                             |   | - Canal Oriental                 | : <b>Interdit</b> | - Point X-Thièle           | : <b>Autorisé</b> |
| - Bief d'Eclépens           | : <b>Interdit</b>   | - Menthue                        | : <b>Interdit</b> | - Sauteru                  | : <b>Interdit</b> |
| - Brinaz                    | : <b>Interdit</b>   | - Morvaz                         | : <b>Interdit</b> | - Talent                   | : <b>Interdit</b> |
| - Canal d'Entreroches       | : <b>Interdit</b>   | - Mujon                          | : <b>Interdit</b> | - Thièle                   | : <b>Autorisé</b> |
| - Bey                       | : <b>Autorisé à l'aval du canal occidental / Interdit à l'amont du canal occidental</b> |                                  |                   |                            |                   |
|                             |   |                                  |                   |                            |                   |
| - Arbogne <sup>①</sup>      | : <b>Interdit</b>   | - Canal de la Broye <sup>①</sup> | : <b>Autorisé</b> | - Marnand                  | : <b>Interdit</b> |
| - Bressonne                 | : <b>Interdit</b>   | - Carrouge                       | : <b>Interdit</b> |                            |                   |
| - Broye <sup>①</sup>        | : <b>Interdit</b>   | - Chandon <sup>①</sup>           | : <b>Interdit</b> |                            |                   |
| - Petite Glane <sup>①</sup> | : <b>1 plaquette pour Missy et 1 plaquette pour Grandcour</b>                           |                                  |                   |                            |                   |
|                             |   |                                  |                   |                            |                   |
| - Avançon                   | : <b>Autorisé</b>   | - Grand Canal                    | : <b>Autorisé</b> | - Gonelles                 | : <b>Interdit</b> |
| - Bondet-Bruet              | : <b>Interdit</b>   | - Grande Eau                     | : <b>Autorisé</b> | - Gryonne                  | : <b>Interdit</b> |
|                             |   |                                  |                   |                            |                   |
| - Aubonne                   | : <b>Interdit</b>   | - Boiron de Morges               | : <b>Interdit</b> | - Pry de Nant <sup>②</sup> | : <b>Autorisé</b> |
| - Armary                    | : <b>Autorisé</b>   | - Canal de Crans                 | : <b>Autorisé</b> | - Venoge                   | : <b>Interdit</b> |
| - Bochet+Riond (Nant)       | : <b>Autorisé</b>   | - Morges                         | : <b>Autorisé</b> | - Versoix                  | : <b>Autorisé</b> |

Ce message est destiné uniquement aux bénéficiaires d'autorisations de pompages à but d'arrosage.

Les pompages dans les autres cours d'eau ou les affluents des rivières susmentionnées sont interdits. Il est rappelé que les agriculteurs détenteurs d'autorisations ont le droit d'effectuer des pompages :

- aux lacs et dans leurs zones de reflux
- ainsi qu'aux nappes phréatiques

Tous prélèvements à fin d'arrosage à partir des réseaux de distribution d'eau de boisson restent de la compétence des communes ou des distributeurs d'eau.

<sup>①</sup> Cette décision est prise en coordination avec le canton de Fribourg

<sup>②</sup> Cette décision est prise en coordination avec le canton de Genève

Si nécessaire, des informations générales peuvent être obtenues au 021 316 75 00 aux heures de bureau.

SESA\_EH\_Interdiction\_pompages\_05\_09\_12

Figure 17 Example factsheet published from the canton of Vaud to inform farmers about if water retrieval is permitted (Autorisé) or forbidden (interdit) for each river in the given period (here: 5. – 12.9.12).

## A.5 Interview transcript Pierre Mayor, Grandcour VD (22.06.2021)

**Zoe Linder:** [00:00:03] Je redemande les question

**Pierre Mayor:** [00:00:05] Enfin on commence par laquelle?



**Zoe Linder:** [00:00:07] Okay, alors on commence par juste en général. La pénurie d'eau, comment elle se présente ici, pour vous.

**Pierre Mayor:** [00:00:15] Alors... Donc ça fait 20 ans qu'on... qu'on a commencé à arroser hein, exactement, et puis..., on doit constater quand même que sur les 20 ans, on va plutôt vers une, une augmentation des interdictions d'arrosage. Donc on fait le constat quand on le fait nous, on a l'impression qu'il y a toujours suffisamment d'eau pour arroser. Et puis, par contre, les chiffres qui nous ne sont pas propres, mais qui nous sont donnés par le ... par le Canton, par ceux qui font les relevés, et ben ils nous disent, ils nous disent "interdiction". Donc, effectivement, on doit... On subit cette chose de plus en plus importante depuis... Ces, ces... Avec les années quoi. Ça, c'est une réalité quoi. Après... Ce qu'il faut savoir aussi, c'est que, c'est qu'il y a une augmentation des..., quand- même une grande augmentation du nombre de... De producteurs qui arrosent, qui fait que je pense tout ça influence le fait que..., qu'un moment donné on va... On est confronté à des interdictions ces dernières années. Eh ben justement, ça c'est difficile de, de se rappeler comme ça de tête, mais ... On était quand même presque, pas chaque année, mais quand même bien souvent... Bien souvent, avec des restrictions, où des, voire des interdictions. Alors quand il y a des restrictions, eh bien on... Dans un premier temps, on s'organise dans le cadre du Syndicat d'arrosage pour..., pour gérer au mieux eh bien dans les plages qui nous sont octroyés, on travaille en collaboration avec le Canton pour ... le service des eaux pour... Pour leur... les aider aussi à réaliser à quelle problématique on est confronté et puis pour qu'ensemble, on puisse trouver les meilleures solutions pour que, pour éviter que, eh ben typiquement, il y a des plages ... on aimerait, on aimerait près... On aimerait beaucoup mieux arroser. On a droit à deux plaquettes d'arrosage alors deux fois 800 litres/ minute qu'on a le droit de tirer dans le syndicat d'arrosage. Et puis, tout d'un coup, ils donnent l'interdiction... Restriction. Ils mettent plus qu'une plaquette, par exemple, nous on préférerait d'en avoir deux pendant la nuit, plutôt qu'une pendant toute la journée où il y a des vents, il y a la chaleur et puis que tout ça c'est de l'eau qui part dans... dans la nature. Donc c'est ce genre de choses où il faut des fois... Expliquer et faire comprendre aussi au service des eaux qui voit la chose sous un autre regard. Et puis... C'est ce genre de choses un peu qu'il faut... qu'il faut en plus négocier quoi. C'est plus... c'est avantageux pour tout le monde parce... quelque part si on tire sur 24 heures une fois 800 litres/ minute, ou bien si on tire deux fois... 800 litres/ minute, mais seulement pendant 12 heures, pendant des heures, pendant des heures, où c'est le plus profitable, où il n'y a pas de vent, où il fait plus frais, où il n'y a pas d'évaporation. Tout ce genre de choses, il me semble qu'on doit se... On doit se retrouver... Nous... On est intéressé à ça. Et puis en finalité, pour le débit proprement dit de la rivière, ça devrait aussi être préférable quoi alors. C'est ça que des fois, c'est... ce n'est pas toujours évident à faire... à faire comprendre, il faut pouvoir s'expliquer, mais... On essaye un petit peu d'aller dans le sens pour trouver les bonnes solutions. Puis après... après c'est clair, ça demande, ça nous demande... Ça nous demande de nous organiser un peu plus à l'avance aussi. C'est ça qui doit vous... Qu'on essaye aussi de faire comprendre aux services des eaux. Nous on fait un arrosage, donc pour la partie grande culture on fait un arrosage sur une fois par semaine. C'est comme ça que ça fonctionne bien. Parce que mettre juste un petit peu d'eau pour gicler dessus, ça, ça ne sert à rien du tout. Donc on a meilleur temps de mettre un bon arrosage une fois par semaine. Et puis pour faire ce genre de choses et bien... Souvent on avait les...on

avait les... L'avis suivant il était donné seulement pour 2,3... Pour 3 jours, deux fois par semaine en fait, il y a le mardi et le vendredi, je crois. Donc en fait, on est toujours sous tension, puis c'est un petit peu... Ça provoque après une guerre entre ceux qui veulent arroser parce que... On veut vite se dépêcher. Donc ce n'est pas idéal et je pense qu'on arriverait à faire beaucoup mieux en s'organisant. Il faut que le service des eaux comprenne le fonctionnement de l'irrigation quand on veut irriguer, parce qu'à un moment donné, on a meilleur temps de dire on arrête tout plutôt que de faire n'importe quoi. Mais si on veut irriguer, si on veut pouvoir travailler avec des autorisations, nous on a besoin de... On a besoin que... d'un minimum de planification. Et puis la... La planification de... Hebdomadaire, elle reste quand-même celle qui est... qui est pratiquée quoi. Alors c'est ce genre de choses qui n'a pas toujours été évident. Alors, on arrive toujours mieux à se comprendre, mais... mais ça demande des fois un petit peu d'explication. Donc, voilà un petit peu pour les grandes lignes et puis ma fille quand on arrive en zone d'interdiction pure, alors c'est, c'est quand même arrivé ces dernières années, donc pas des restrictions, mais vraiment de l'interdiction. Là, je trouve qu'il manque des fois un peu de souplesse, mais je... je comprends aussi. Il manque un peu de souplesse entre... C'est clair si... Il y a... donc là on a un statut un peu particulier. C'est qu'à la fois, on arrose de la grande culture, donc sur une fréquence d'une fois par semaine, au même titre que tout le monde. Et puis c'est ça, premièrement, qui utilise beaucoup d'eau dans toute la région. Et puis, en même temps, je fais du légume et puis là on utilise... On est plutôt dans une approche où on utilise moins d'eau, mais souvent, et puis on en a absolument besoin. Donc, ce n'est pas une histoire de... Pour Grande culture eh ben quelque part... Ça permet d'augmenter les rendements, ça permet de maintenir les cultures. Et pour la partie... Pour la partie du légume ou bien si on a des... des planifications de plantation...

**Personne:** [00:06:55] [Femme de Monsieur Mayor qui vient pour lui demander une question]

**Pierre Mayor:** [00:07:13] Donc pour le.. La partie légumes, eh ben c'est clair que la planification est tout autre parce que la planification des plantons, des semis eh ben on la fait en début d'année pour toute l'année. Et puis, quand les plantons sont là, eh ben s'il n'y a pas d'eau il n'y a pas d'eau et on oublie. Donc c'est... Et puis là souvent ben... À la fois ben on fait du... On ne fait pas du maraîchage en gros, on fait du maraîchage diversifié. Donc... Beaucoup de sortes de légumes et des petites surfaces par légumes. Et puis... Je trouve que là, des fois, c'est la législation elle est... elle est... Ben c'est la législation, c'est pour tout le monde la même chose. Et puis, on ne va pas faire de différences entre un producteur qui a besoin d'arroser peut-être au mois... À la... À la mi-août, qui a besoin d'arroser peut-être 10.000 plantons de fraises et puis qui va mettre 30 millilitres d'eau par... Par plantant, donc ça va faire... Ça va faire 5 mètres cubes d'eau, qui est insignifiant, ou bien un arrosage où il y aura peut-être 20... 20 systèmes d'irrigations qui vont pomper 800 litres/ minutes. Et l'interdiction elle est pour tout le monde la même chose, alors je comprends parce que c'est compliqué pour... pour le service des eaux s'ils doivent commencer à faire des variantes. Mais en même temps, voilà, vous avez commandé... Vous avez commandé 10.000 plantons de fraises et vous les commandez à l'avance, ils arrivent à cette semaine-là, on est en pleine interdiction. Il n'y a plus personne... À mi-août, ben il y a interdiction parce que de toute façon, en même temps, ben les pommes de terre, ça s'arrose plus, le tabac, ça s'arrose plus, les grandes cultures ne

s'arrosent plus, à part vraiment dans des cas très particuliers. Donc... Le service des eaux eh ben il met quand même l'interdiction parce qu'on est en zone critique, et puis voilà. Et puis en même temps, on aurait besoin de, de quelques milliers de litres d'eau pour arroser un peu de légumes. Et puis là, il y a interdiction, alors qu'on a la rivière qui passe à côté de nos champs. Ce genre de choses, je le vis un petit peu mal... Et je pense que là, il faudrait pouvoir... Il faudrait pouvoir trouver des solutions. Mais je comprends que c'est compliqué parce qu'en même temps, s'ils disent oui à un, l'autre ne comprend pas. Eh ben voilà. Mais c'est... C'est des, des questions qui sont... ce sont des problématiques qui sont embêtantes quoi, parce que... Parce que, parce que justement, il suffirait des fois... Quand on à la mi-août ou début... C'est souvent, c'est souvent à la fin quand-même qu'il y a ces interdictions qui viennent. Et puis, il suffirait de... Tout le monde après... voilà ils... Ceux qui font la patate ben, à un moment donné, ils arrêtent, ils arrêtent. Et puis nous, on a des séries de légumes ou de petits fruits qu'il faudrait continuer à... Et puis, quelques dérogations possibles permettraient de... Permettraient de... de faire qu'on peut continuer normalement. Et puis ça, ça serait insignifiant pour les poissons, j'ai l'impression. Donc voilà ça c'est... ça c'est la problématique quoi. Où on... on doit quand même... Où il faudrait trouver des solutions. Alors, dans... parmi les solutions, puis que ça fait partie des questions aussi, donc il y a ces... il y a ces projets de tir... De prendre l'eau depuis le lac, qui sont un petit peu en attente, quand même, enfin en... Il y avait un premier... un premier, une première étude de projets où on avait... Où il y avait quand même des plusieurs dizaines de milliers de francs qui ont été dépensés pour la partie... Chevroux, Grandcour, Payerne, Corcelles... Je ne sais plus quoi encore, [endroit pas identifié] je crois, et puis elle est... elle a dû être annulée. Alors maintenant, ça part plutôt du côté d'Estavayer, avec quelque chose de beaucoup plus grand. Mais on est dans des... enfin ce sont des solutions qui sont des solutions pour faire de... de la pomme de terre, de la... du tabac. Si on enlève ces deux productions, si on enlève la frite et la fumée, je pense qu'on parle plus tellement d'arrosage. Alors que nous, on a avec... est un petit peu seul, là, au milieu de tout ça, avec des besoins liés à la... le maraîchage, c'est un petit peu différent je trouve donc... On a des projets qui se financent à coups de, de dizaines de millions de francs pour faire de la frite et de la fumée... Subventionnés par... Par les cantons subventionnés par... Le contribuable... Pour financer enfin quand même, qui sert les intérêts de quelque chose un peu de... D'industriels, alors que nous, on est dans une approche toute différente. Mettre des grosses pompes, utiliser de l'énergie pour faire venir de l'eau de... depuis le lac, la pomper dans des grosses installations... Alors qu'on a de l'eau qui coule tranquillement à côté des champs, je pense que, j'ai l'impression des fois qu'il y a un petit peu... un "nonsense" quoi dans tout ça. Donc effectivement, à titre personnel, pour des besoins tels qu'on les a nous, j'aimerais pouvoir trouver une... une autre solution que, que tout simplement aller chercher de l'eau dans, dans le lac quoi. Et puis, c'est un petit peu... mais je... Pour l'instant on se heurte, alors je me suis... Parmi les solutions, ben je m'étais dit on fait un, un lac artificiel sur nos terres, mais là on se heurte à la problématique des... des, de l'aménagement du territoire, qui ne voit pas d'un bon œil qu'on utilise la surface agricole pour faire un lac. On pourrait faire un petit lac à la fois qui... Style un peu biotope, mais dans lequel on peut quand même puiser de l'eau. C'est là où, des fois, il faudrait qui... un petit peu de bon sens qui permet de relier des aspects écologiques et des aspects quand même agronomiques qui sont là, si on veut faire du légume, on a besoin d'eau. On a besoin... Donc... La chose elle est compliquée quoi, je trouve. Elle est

compliquée, et pendant ce temps, ben on a de l'eau qui coule tout simplement à côté de nos parcelles. Et puis, si on veut faire du légume, on a besoin de l'eau, on ne passe pas à côté de ça. Et puis... J'ai l'impression qu'on devrait arriver à faire quelque chose de sensé, de logique, qui ne demande pas des gros de l'investissement, ça c'est sûr, on sait que... L'irrigation coûte quelque chose, mais quelque chose qui est, qui est aussi sensé, dans le sens de, de pas... D'utiliser un minimum d'énergie aussi pour le, pour le faire. Et puis plutôt que de partir tout le temps dans des gros projets qui sont intercommunales, interrégionales et qui finissent à coups de, de dizaines de millions de francs. Et puis, qui... En fin de compte, qui nous échappe un petit peu, parce que... Et puis qui nous amènent à un prix de l'eau qui est, qui est exorbitant, alors que l'eau coule naturellement à côté des parcelles. C'est là que, c'est là qu'il y a une problématique je trouve quoi. Problématique de législation, problématique de, d'intérêts. C'est clair, moi, j'ai ces, j'ai ces genres de, de besoins qui sont là, mais que, qui ne sont pas partagés par celui qui a 10 ou 20 hectares de patates et puis que lui il lui faut beaucoup d'eau quoi. Donc, j'ai des autres besoins qui sont là. Ces besoins ils pourraient être résolus au travers de solutions différentes, à mon avis, que les autres solutions qui sont envisagées, qui coûterait moins cher au contribuable, qui coûterait moins cher à la société, qui dépenserait moins d'énergie. Mais en même temps, on voit qu'il y a quelque chose qui coince au milieu de tout ça dans le système, au niveau de la législation, au niveau des... ben si on fait un Lac, un biotope, les milieux écologiques seront favorables parce qu'ils sont favorables à ça, les... l'aménagement du territoire n'est pas favorable parce qu'on ne prend pas de la zone agricole pour mettre de l'eau dedans. Et puis, si on met un biotope, et puis qu'on va pomper de l'eau, les milieux écologiques ils ne sont pas favorables parce qu'un biotope c'est pour les... la faune, ce n'est pas pour aller chercher de l'eau. C'est compliqué, tout ça. Donc voilà, si... si je vous expose une problématique, et puis si dans votre travail de recherche, eh bien ça pourrait déboucher des... des bonnes solutions aussi, ça serait bien. On a eu aussi pensé dans le cadre de... alors ça, pas seulement pour mes propres besoins, mais déjà uniquement pour la partie de la... les quelques producteurs qui arrosent dans la commune là, eh bien de, au lieu d'aller chercher de l'eau au lac où il faut, quelque part, monter et redescendre, on suit le, la direction du cours d'eau, et puis, on... on remonte juste dans l'autre sens avec de l'eau. Donc on est beaucoup plus à plat, donc on prendrait par exemple dans la Broye, la Broye... on est à 5-6 kilomètres... Dans la Broye, juste à la, à la zone près d'Avenches où elle est au niveau du lac, donc où il y a... Elle n'est pas influencée par les interdictions d'arrosage, et puis de la remonter... de la remonter jusqu'ici, alors, c'est clair, ça serait peut-être pas des projets pour... pour toute une zone de 2.000 hectares comme c'était prévu avec ces grands projets du lac, mais peut-être pour quelques producteurs. Mais voilà, encore une fois, la... le système, le système, le système de législation il fait que souvent, les choses doivent être faites à grande envergure et elles coûtent beaucoup d'argent. Et puis, c'est les marchés publics, et puis il y a plein de gens qui sont intéressés aussi à ce genre de, de choses. Et les petites initiatives à petite échelle, soit personnelle, soit à petits groupes, elles sont souvent, elles ont souvent du mal à passer le cap. Mais en matière d'énergie, on utiliserait beaucoup moins, on utiliserait beaucoup moins d'énergie et ça ne nous coûterait probablement pas plus cher de faire ça juste pour quelques producteurs. Mais voilà, donc, c'est... ce sont des problématiques qui sont là. Et puis, les années passent, et puis... Et puis on

est toujours un petit peu au même stade, quand même quoi. Voilà un petit peu ce que je peux vous dire dans les grandes lignes. Je ne sais pas qu'est-ce qu'il y a avait encore comme question ?

**Zoe Linder:** [00:18:21] Bon c'était sur le future encore, si... Il y aura plus de pénurie d'eau juste, comment on pourrait aussi... Quelles mesures on pourrait aussi prendre pour faire quelque chose contre ? Ou bien si, ouais par exemple aussi de changer le type d'irrigation, je veux dire la, la façon comment on irrigue ?

**Pierre Mayor:** [00:18:46] Ouais, alors, c'est clair ça, ça fait tout partie de choses parce qu'on y réfléchit depuis des années... en fin, il y en a qui réfléchissent pas, il y en a c'est le, l'eau par-dessus, fini, terminé. Et puis, on a besoin de beaucoup d'eau, et puis voilà. Et puis, moi, par contre je... je, ça fait des années, je réfléchis aux différents types d'irrigation. Donc que ça soit du goutte à goutte, ça fait... Ça fait longtemps qu'on en fait. En même temps, on est... On a fait nos expériences. Il y a plein de problématiques aussi, avec le goutte à goutte qu'on... que c'est quand on le pratique, ce n'est pas quand on, on lit des bonnes études et puis quand on dit c'est le goutte à goutte qu'il faut faire, quand on le fait dans la pratique, on s'aperçoit qu'il y a des problèmes après avec le goutte à goutte pour suivant quelle culture. Il y a des problèmes... il y a des cultures, ça ne pose aucun problème. Elles se prennent bien au goutte à goutte et il y a d'autres cultures, ça ne fonctionne pas, ce n'est pas idéal. Un arrosage par aspersion, pour certaines cultures, il est... c'est ce qui a besoin. Donc ça, ça, on le trouve... Ça, c'est quand... c'est l'expérience qu'il le fait. Ce n'est pas... ce n'est pas les chiffres qui nous disent on utilise moins d'eau [mot pas identifié] goutte à goutte, non. Ça c'est de la... ça c'est de la théorie, dans la pratique, après, quand on a... il y a des cultures, elles ne fonctionnent pas idéalement au goutte à goutte. On a d'autres problématiques qui sont les oiseaux... qui pendant tout un temps, on faisait beau... on faisait beaucoup de goutte à goutte, mais certaines... Pour toute une partie de cultures on a complètement arrêté, parce que tout ce qui est biodégradable, tout ce qui est... Justement le, les [mot pas identifié], comme on appelle donc les, les tuyaux aux goutte à goutte là, qui sont qui sont... Ou on peut faire des kilomètres avec, donc ils sont à usage unique. On oublie avec ça, les oiseaux, ils vont dessus... ils ont aussi soif hein ! Donc ils boivent de l'eau, et puis ils vont et puis ils percent et puis c'est, c'est fichu. Alors, on en utilise toujours un peu, mais il faut... Il y a cette problématique des oiseaux qui est, qui est une grande problématique, que à la base bon... On ne pensait pas qui avait cette problématique, mais c'est une problématique. Alors après eh ben il y a les tuyaux qui sont plutôt durs, mais qui sont... donc le déroulement des tuyaux, se fait plus difficilement pour tout ce qui est... Si on veut faire de la pomme de terre en goutte à goutte, avec des tuyaux durs. Mais déjà, les cours qui sont beaucoup trop élevés pour faire la pomme de terre. Et puis après, pour les déployer, c'est, c'est toute une problématique. Après, j'ai étudié aussi les goutte à goutte enterrés. Donc en France, là ils ont commencé à faire... Ça s'est pas mal développé ça dans certaines régions. Donc, le goutte à goutte qu'on enterre pour 20 ans un peu près avec des, des tuyaux qui résistent à la pression. Pour le légume, je n'y crois tout simplement pas du tout, ce n'est pas adapté. Ça serait adapté pour irriguer du maïs, par exemple, des cultures comme ça, la pomme de terre... je n'y crois pas tellement non plus, parce que c'est tout lié au système racinaire, quand même. Le maïs, mais il faut qu'il s'implante une fois qu'il est implanté, il peut quand même... on peut envisager qu'on amène de l'eau à.... à 50 cm avec un tuyau là, et puis que ça suffit à irriguer, mais pas

pour la pomme de terre. Ça... Je ne pense pas qu'on, qu'on va solutionner, qu'on va régler le problème. Je trouvais intéressant, parce que quelque part, il n'y a pas d'évaporation, il y a... Je trouvais très intelligente cette approche, mais encore une fois, elle ne se prête pas à... D'après ce que j'ai fait, alors on ne l'a pas, on ne l'a pas expérimenté cela, parce que c'est toute une autre infrastructure qu'il faut mettre en place. Mais... D'après l'expérience qu'on a fait avec les différents systèmes d'irrigation, c'est le légume n'est pas adapté à ce genre d'irrigation à cause de l'enracinement, la pomme de terre je n'y crois pas tellement non plus, par contre des autres cultures comme du maïs, des... des céréales, eh ben oui ! Mais après, ce n'est pas forcément le... Ces cultures là qu'on irrigue en priorité dans... actuellement. Peut-être dans le future oui, mais pas, pas actuellement. Et puis après, dans les autres systèmes, alors... alors c'est clair pour toute la partie légumes, on essaye aussi de faire des réflexions avec du, du système localisé. Ça veut dire au lieu de.... Au lieu d'.... Tout en restant sur l'aspersion, parce que pour certaines cultures, on a besoin de l'aspersion, mais peut être de, de l'irriguer... Vraiment juste une aspersion, mais localisée sur la... Sur la ligne de cultures. Alors là, il y a des... il y a des choses je pense qu'on peut encore découvrir par rapport à ça. Mais, encore une fois... C'est tous des choses un petit peu qu'il faut... Au niveau technique, qu'il faut faire aussi un petit peu ces prototypes de machine parce que... Ça ne se trouve pas ! J'ai essayé plusieurs fois de solliciter des... des personnes, mais c'est... L'irrigation au niveau mondial elle se fait par des gros systèmes. Elle ne se fait pas par des petits systèmes ! Et je pense que... Pour, pour des besoins tels que... Auxquels on est confronté et où on a absolument besoin d'eau et puis où on fait du diversifié, où on fait des petites surfaces mais en diversifié, et bien je pense qu'on aurait... ça serait... On trouverait des solutions à ce niveau-là, mais... Ça demande beaucoup de... L'industrie n'est pas intéressée souvent par ce genre de choses, parce qu'il n'y a pas, il n'y a pas assez de profit à ce niveau-là. Donc, voilà un petit peu les différentes problématiques auxquelles on est confronté donc le futur, ben oui, c'est un gros problème cette histoire de l'eau, on a... J'ai étudié aussi l'histoire des silos, mais en même temps mettre des silos, des réservoirs... Je ne trouve pas que c'est la solution la plus esthétique non plus dans... au niveau, enfin je trouve qu'on pourrait faire mieux quoi. On a besoin d'eau, c'est une problématique on sait qu'on va... Les pénuries sont là, les milieux écologiques il font quand même grande pression pour part qu'on tire dans les rivières, même quand la rivière, là où on pompe l'eau, elle a quand même un bon niveau qui nous permettrait de tirer quelque... quand même un peu de l'eau. Voilà, il y a des aspects politiques, il y a des aspects économiques, il y a des aspects agronomiques quand même, auxquels on doit faire face. Et puis, c'est... Je trouve c'est une problématique, où c'est difficile de d'évoluer là-dedans et puis, on doit quand même constater que on est... ça fait des années qu'on essaie de trouver des solutions, parce que ça fait des années que la problématique, les questions que vous soulevez là, ben on se les pose, et puis on est confronté à ça. Et puis on est quand même... On n'avance pas vite, on doit dire quoi. À cause de tout ce genre, ce genre de problématiques quoi. Dès qu'on veut mettre en route un peu quelque chose, c'est compliqué parce qu'il y a beaucoup, beaucoup de monde qui veulent dire ce qu'ils ont à dire et puis en même temps, pendant ce temps et ben voilà, on est confronté à ça. Et puis... et puis il y a le manque d'eau, et puis aujourd'hui, il y a le trop d'eau. Vous avez vu la rivière ? C'est impressionnant hein, au mois de juin c'est du... je ne sais pas si j'ai vu ça au mois de juin. Donc voilà, on parle de pénurie d'eau, puis on est confronté à ça. Et puis, il y a une semaine, on a

arrosé hein ! Il y a une semaine on a arrosé, puis peut être dans, dans 10 jours, on arrose. C'est comme ça, il y a trop, et puis après il n'y a pas assez... Donc la problématique d'irrigation, tout d'... De toute façon, c'est une vieille problématique liée à l'agriculture hein. Mais peut être qu'aujourd'hui, parce qu'il y a moins de monde qui fait de l'agriculture, et puis plus de monde qui dit comment faudrait faire de l'agriculture. C'est là qu'elle est... qu'elle est une grosse problématique. Parce qu'avant, ben quand tout le monde avait un petit coin de jardin et quand peut-être 70 pourcents vivaient de l'agriculture. Eh ben on est conscient qu'on a besoin d'eau pour faire pousser des aliments tandis qu'aujourd'hui, quand on vit de plein de choses et puis...qu'il y a peut-être un ou deux pourcents qui font de l'agriculture. On a plein de gens qui nous disent mais il y'a qu'à, il y'a qu'à ! Et puis non, il n'y a qu'à pas. C'est... Ça ne suffit pas le "il y'a qu'à". Donc voilà, voilà où c'est qu'on se trouve. C'est une grosse problématique. Je ne sais pas ce que je dois dire encore.

**Zoe Linder:** [00:28:07] Je crois que c'était un peu ça, ouais. C'était très intéressant en tout cas... Parce que vous avez dit que vous avez commencé il y a 20 ans, et puis avant, ce n'était jamais un problème ou bien...

**Pierre Mayor:** [00:28:23] Non, on irriguait pas. C'est, c'est pa... Parce que... Alors la culture de pommes de terre n'était pas développée dans la région, quand même hein. Donc c'est, c'est quand même peut être un peu plus que, que... Mais c'est quand même depuis une vingtaine, une trentaine d'années que la culture de la pomme de terre s'est développée dans la région. Et puis... Dans le cas... Après, si vous faites la céréale, si vous faites une... Quelque chose...Eh ben la question ne se posait pas ! On n'était pas équipé pour arroser, alors il y a eu... On sait que traditionnellement, il y a eu tout le temps cette épisode de 1976, qui était sec et puis que... Avec des moyens du bord, eh ben ils allaient chercher un petit peu d'eau dans la rivière pour, pour sauver un petit peu quelques cultures, mais ce n'était pas de l'irrigation ! Donc, il y a vingt ans, on a... donc il y avait ces autorisations qui étaient prises en charge par la commune, jusqu'il y a vingt ans en arrière. Et puis la commune, elle payait chaque année au Canton ses droits d'arrosage qui n'étaient pas utilisés. Et puis, à un moment donné, ils ont été transférés au syndicat d'améliorations foncières. Et puis, en attente, qui un jour, pour pouvoir les garder, parce que la commune voulait s'en... Voulait plus payer ça quoi. Et puis, si on voulait continuer à avoir ces droits d'arrosage, eh bien il fallait...il fallait pouvoir garder ces...Continuer à payer ces, ces autorisations. Et puis, à un moment donné, le syndicat d'améliorations foncières qui a pris en charge pendant... Ces autorisations à un moment donné, eh bien, il a lancé la chose au niveau des producteurs pour savoir s'il y avait un intérêt pour arroser ou si on mettait de côté ses droits d'...de ces autorisations. Et puis, c'est là qui s'est constitué un syndicat d'arrosage où on n'est, on n'est pas beaucoup dans la commune. Et puis donc, on a, on a repayé ses droits d'arrosage... On a remboursé ces droits d'arrosage qui avaient été avancés. Et puis, si on... Du fait qu'on a pris ces autorisations après ben, on s'est...On s'est équipé pour irriguer, et puis, du moment qu'on est équipé pour irriguer, eh ben on irrigue, et puis du moment quand on commence à irriguer. Eh bien... C'est... Ce n'est pas judicieux, soit on n'irrigue pas, soit on irrigue en gros. Là, la pomme de terre ou les cultures spéciales, a plupart du temps, c'est quand même comme ça. Donc ça veut dire, soit on fait... On n'irrigue pas et puis voilà, c'est comme ça. Et puis ça joue, ça ne joue pas. Mais du moment quand on commence à irriguer...Et puis, c'est ça que des fois, les... le Service des eaux, les... Ou ceux qui ne sont pas



confrontés à l'agriculture, ne comprennent pas forcément toujours, c'est que, c'est que du moment qu'on a commencé à amener de l'eau, il faut continuer à amener de l'eau, ou bien il... c'était préférable de ne pas avoir commencé amener de l'eau. Donc c'est clair que... que ça, ça implique... la pomme de terre eh ben voilà, si on sait que si on... du moment qu'on commence à l'irriguer, eh bien... il faut continuer à l'irriguer. Pendant toute la saison, jusqu'à début août pour que ça fonctionne, sinon ça fonctionne mal. Donc...

[homme se montre vers la fenêtre pour vite demander qqc à Monsieur Mayor].

**Pierre Mayor:** Alors voilà un petit peu, voilà un petit peu... pourquoi donc c'est clair qu'avant il y a 20 ans on n'a pas... on n'était pas équipé pour irriguer, on ne faisait pas d'irrigation, on ne se préoccupait pas tant de savoir s'il y avait autorisation ou pas, puisque on ne l'utilisait pas. Donc c'est pour ça que avant 20 ans ben je n'en sais rien quoi. Mais depuis 20 ans, depuis qu'on a repris [bruit] dans l'année 2000 je crois on a commencé, on a commencé avec l'irrigation quoi.

**Zoe Linder:** Alors il y avait de plus en plus d'interdictions?

**Pierre Mayor:** Moi je trouve oui. Toutes ces dernières années on était presque...Alors 2003 était vraiment une année... mais même en 2003 où on a eu interdiction on a, on a tout le temps réussi à [mot pas identifié] ...il y avait, il y avait restriction, enfin il y avait eu interdiction, on a pu après négocier avec le service des eaux... pour arriver à quand même arroser pendant la nuit, mais on a... on faisait des efforts, et puis... mais on allait, on arrosait... au lieu d'arroser pendant... un producteur au lieu qu'il arrose pendant... pendant 15 heures d'affilé parcelles, il... on arrosait pendant 4 heures... au milieu de la nuit on allait changer les installations, tout... enfin c'était un petit peu un cirque quoi. Mais... on devait faire ça pour... ça permettait de sauver la culture quoi quelque part ! Et puis après il y a eu quelques années quand même où on n'a pas trop été embêté, même des années qu'on a pas du tout du arroser, et puis... par contre toutes ces dernières années quand même c'était plus compliqué quoi. Mais... enfin voilà quoi. Et puis cette année, c'est compliqué mais autrement. Voilà donc... alors voilà après je... si vous pouvez... si ça peut une fois amener des solutions qui viennent aussi de la part d'études scientifiques qui sont faites et qui peuvent un petit peu nous aider à sortir quand même de quelque chose... de quelque chose où on sait qu'il y a une problématique, mais... elle est un petit peu compliqué à résoudre quoi.

**Zoe Linder:** ouais j'espère aussi en tout cas, que ça va aider quelque chose, mais... ouais en tout cas, ça, ça aide beaucoup d'avoir des informations comme ça aussi, parce que ça donne une toute autre vue sur les choses que juste avoir les chiffres et puis... c'est pour ça ouais...si c'est tout ce que vous vouliez dire...

**Pierre Mayor:** Écoutez, pour moi... je vois pas... au moins que vous avez des questions encore...

**Zoe Linder:** Non pour moi, je crois que c'est bon, on a parlé de tout, alors... merci beaucoup!

## **A.6 Interview transcript Ludovic Gatabin, Vullierens VD (06.07.2021)**

**Zoe Linder:** [00:00:03] Alors, c'est juste en général pour savoir comment se présente la situation de pénurie d'eau ici. Quels sont les problèmes et quelles sont les mesures que vous prenez pour faire quelque chose contre s'il y a ce problème.

**Ludovic Gatabin:** [00:00:19] Oui, eh ben nous, les problèmes c'est on arrose à la rivière, justement, donc à la Venoge, c'est un moyen cours d'eau. Et puis le problème, c'est quand il y a de la sécheresse, justement, étant donné qu'il y a un peu tout le monde qui pompe de l'eau au cours de la rivière, on a une concession nous, de l'état de Vaud. C'est l'État qui décide, donc c'est le garde-faune qui décide le niveau de la rivière si on peut irriguer ou pas. Donc on est vraiment... On est le premier échelon à être interdit quoi, en cas de sécheresse. Donc ça, c'est un peu problématique, justement par rapport aux cultures. Et puis, il n'y a pas vraiment de moyens de lutte, disons on ne peut pas, voilà, du moment qu'on a la restriction, on a plutôt une perte de récoltes par rapport à ça quoi. On ne peut rien faire actuellement, c'est un risque qu'on prend nous, comme cette année voilà on a les patates, justement, il y a 30 milles mètres carrés au bord de cette rivière. On a fait déjà deux arrosages, donc il n'y a pas de pénurie d'eau. Il n'y a pas de problème, ben il pleut bien assez. C'est une année normale on dira. Après c'est un risque, disons, c'est un risque. Après, peut être que justement, nous on peut jouer sur des variétés qui sont peut-être moins sensibles au stress, au stress hydrique. C'est ce qu'on fait maintenant actuellement, c'est qu'on sélectionne des variétés qui sont très courte végétation. Soit on utilise des variétés, par exemple, elles ont souvent 150 jours ou des variétés à 80/90 jours ou avec des petits tubercules. Ça veut dire qu'on n'a pas besoin de faire grossir la patate sur juillet et août. Si vous voulez, c'est la période de végétation elle est beaucoup plus courte. Et puis ça justement en général étant donné qu'on plante au mois de mai, début mai, fin avril, ou même début avril, plus on plante tôt, plus on aura de la pluie en général. La pluie, elle est toujours là au mois de mai et juin. On a toujours des précipitations. Après les canicules, ça arrive souvent c'est fin juin, juillet, août. On a souvent des étés, des arrières-étés qui sont assez chauds. Juillet, août, c'est assez chaud, quand-même. Donc je dirais c'est notre lutte, disons que c'est plutôt par rapport à la variété de légumes ou de pommes de terre qu'on choisit d'implanter.

**Zoe Linder:** [00:02:30] Ouais, ok. Et il y en a plus souvent de sécheresses maintenant, les années passées ou bien, c'est toujours un peu la même chose ?

**Ludovic Gatabin:** [00:02:39] Ouais, alors ça se répétait justement peut-être des facteurs un peu plus extrêmes, disons, Comme par exemple, cette année, on a trois semaines de retard avec les cultures. Et puis, on a beaucoup, beaucoup d'eau. On a trop d'eau par rapport à une année normale. Et puis le problème c'est, c'est des comment dire. La météo elle est, elle est plus top, je veux dire, on a plus les précipitations normales, tout d'un coup on a deux mois de précipitations en trois jours. C'est ça le problème, disons. Ce n'est pas régulier sur l'année. C'est ça le facteur problématique. On voit actuellement les pays nordiques qui ont très chaud, le Canada aussi. Du coup, ça influence, nous on n'a pas l'anticyclone des Açores ici. Et puis on a de la pluie, on a de la pluie. On n'a pas un temps normal disons. C'est tout est chamboulé à l'échelle mondiale on dira.

**Zoe Linder:** [00:03:29] Ouais c'est ça, ouais. Okay. Et maintenant au futur, je veux dire avec le changement climatique, s'il y a... Peut-être ça devient plus, ou bien ça devient pire avec toute la situation. Est-ce que vous pouvez penser de...ouais les mesures qu'on pourrait encore prendre pour faire quelque chose contre ? Ou bien dans votre situation avec la rivière, s'organiser, ou bien...

**Ludovic Gatabin:** [00:03:54] Disons que la rivière ça sera de plus en plus problématique à avoir de l'eau grâce à la rivière, disons... ça sera plutôt voilà à étudier la possibilité tirer des conduites d'eau qui viennent de la ville de Lausanne. Il y a déjà un réseau qui arrive à Cossonay. Donc le village d'à côté, ça serait plutôt voilà tirer des conduites d'eau, comme ici sur cette commune. On a de l'eau au bout des champs, donc on la paye 2 francs 35 le mètre cube par exemple. Et puis, là on est... on a une garantie, on a de l'eau garantie toute l'année étant donné qu'elle vient du lac Léman. Ça, ça, ça sera le seul moyen mutuellement de contrer justement cette pénurie d'eau. Parce que les rivières à long terme, ça va devenir difficile à... voilà. Et puis quand on met par exemple une culture de fraises, sachant qu'on fait environ 100'000 francs de chiffre d'affaires par hectare sur

10.000 mètres carrés. On ne peut pas prendre le risque économique de mettre une culture, et puis juste de pouvoir pomper à la rivière et puis d'attendre, voilà, l'interdiction de pompages, ce n'est pas possible. Il y a certaines cultures le long des cours d'eau et elles vont devoir être abandonnées, tout simplement. On fera peut-être des céréales, des cultures, qu'il n'y a pas besoin d'irriguer quoi.

**Zoe Linder:** [00:05:02] Ouais, et aussi peut être de changer le type d'irrigation, la façon qu'on irrigue?

**Ludovic Gatabin:** [00:05:07] Oui, alors ben justement là nous, ben on fait partie du programme. C'est peut-être pour ça qu'ils nous ont contactés. On utilise du goutte à goutte. Donc ça veut dire, il n'y a plus, il y a moins d'évapotranspiration parce qu'il y a deux, ben, vous connaissez je pense. Il y a deux systèmes : soit on arrose en plain, ou soit, par exemple on met voilà, une bande à l'intérieur de la butte si vous voulez, ça, on le fait déjà, mais on ne le fait pas forcément sur toutes les cultures.

**Zoe Linder:** [00:05:33] Ouais, parce que ça ne va pas bien sur toutes les cultures?

**Ludovic Gatabin:** [00:05:36] Ben par exemple là j'ai un champ de courges au bord de la rivière alors j'ai mis une gaine de goutte à goutte, mais on n'a pas arrosé encore cette année parce qu'il y avait assez de précipitation. Mais à partir là de juillet août, c'est là que les fruits grossissent, donc si on n'a pas d'eau, on a un déficit hydrique, c'est important de pouvoir arroser. Donc là, par exemple, on économise je ne sais pas, peut-être 30, 40 pour cent d'eau, entre voilà qu'il fait très, très chaud l'été, ça s'évapore très rapidement. Là, on est vraiment sous le plastique dans la terre et puis l'eau elle est, voilà on utilise beaucoup moins d'eau. On arrive à faire des économies d'eau. Après, le problème, c'est que voilà l'État il devrait peut-être prendre en compte, disons voilà votre culture que vous arrosez, comment elle est, est-ce que c'est par aspersion ou est-ce que c'est ciblé au goutte à goutte ? Et puis là, si on... Voilà, si nous on fait l'effort, on devrait pouvoir arroser quand-même...

**Zoe Linder:** [00:06:28] Plus.

**Ludovic Gatabin:** [00:06:28] Ouais, en cas de restriction! Ou alors, ma foi, abandonner les cultures spéciales, mais... Le marché est là, les gens voilà c'est soit on importe au Portugal, la courge où soit on la cultive chez nous. Mais il faut aussi que les gens soient conscients qu'on a besoin d'eau. C'est... c'est tout un... C'est ouais, c'est assez difficile.

**Zoe Linder:** [00:06:50] Ça, je pense. Et aussi d'irriguer pendant la nuit. C'est aussi une possibilité?

**Ludovic Gatabin:** [00:06:57] Alors là, ben les pommes de terre, elles sont tout le temps irriguées pendant la nuit. Je commence à 7 heures le soir environ, et puis j'arrête à 8 heures du matin environ.

**Zoe Linder:** [00:07:06] Et ça même quand il n'y a pas de problème de pénurie? T

**Ludovic Gatabin:** [00:07:08] Tout le temps. C'est tout le temps la nuit. C'est déjà pour la plante, c'est mieux. Et puis, on est équipé avec un système, je veux dire voilà, on va l'enclencher le soir, on se lève deux à trois fois la nuit, juste pour aller contrôler. Mais il n'y a pas, je veux dire de problèmes. Ce n'est pas toute l'année, c'est peut-être 4 à 5 fois par année, donc ça va.

**Zoe Linder:** [00:07:29] Okay, super. C'est à dire... Et puis vous pompez toute l'eau, ça vient du... de la Venoge.

**Ludovic Gatabin:** [00:07:42] Oui. Si, si, les champs, ben tous les champs qui sont le long de la Venoge, ça vient de la Venoge, et puis après, si c'est des champs qui sont plus loin que la Venoge, on tire au réseau d'eau de la commune. Mais c'est vrai, ben si je fais des calculs par exemple. [Cherche son téléphone pour calculer] J'ai arrosé 30 litres fois 10'000, ça fait 300'000, divisé par 1'000, ça fait 300 mètres cubes fois 2.50, ouais. Si je fais le calcul, si j'arrose 30 mm sur un hectare, alors 10.000 mètres carrés, ça fait 300 mètres cubes sur un hectare, okay, sur une nuit. Donc, si, disons que l'eau je la paye 2.50 au réseau, ça me fait 750 francs. Et puis moi, ça me coûtera le mazout, plus la concession. Donc... Moi, cet arrosage, il me coûtera peut-être 50 francs, de la Venoge. Donc j'aurai économisé 700 francs. Donc le problème avec les pommes de terre, économiquement, le

produit, il n'est pas payé assez cher aux producteurs ni aux consommateurs. Ils n'achètent pas assez cher pour qu'on puisse l'arroser avec l'eau du réseau. Économiquement, ce n'est pas possible. Il faudrait que comme vous allez acheter des patates vous les achetez, je ne sais pas, 4 ou 5 francs le kilo, et puis nous ils nous les achètent un ou 1 franc 50, en fait tous les produits alimentaires que vous avez sur le marché ils sont trop bas par rapport à nous à nos coûts de production. Tout est limité. Et puis voilà, il y a toujours aussi, après le grossiste, lui il prend toujours sa marge. Mais nous, par rapport au risque qu'on prend... Puis voilà, c'est ben c'est comme le goutte à goutte et tout, c'est un investissement aussi. Mais économiquement, moi, s'ils me demandent écoutez, il faut faire des efforts, il n'y a plus d'eau, faut faire que du goutte à goutte. Moi il n'y a pas de problème je le fais, mais il faut payer le produit plus cher. Et puis, dans le futur, faudra que les gens ils comprennent aussi parce que... On peut faire toutes les cultures qu'on veut, mais si c'est pour valoriser voilà ce n'est pas... c'est difficile.

**Zoe Linder:** [00:09:52] Et alors, comme culture au futur, vous voyez quoi comme possibilités? Ou bien quelle culture, que...

**Ludovic Gatabin:** [00:09:59] Si on ne pouvait plus arroser, par exemple, ou bien?

**Zoe Linder:** [00:10:00] Oui, si on peut moins arroser.

**Ludovic Gatabin:** [00:10:01] Eh ben on ferait du... Je pense qu'on ferait des céréales, peut être, céréales. Et puis on pourrait faire... colza, céréales, la luzerne, par exemple, mais la luzerne, on n'a pas d'animaux, donc il faut de l'herbe, faut valoriser aussi. Ça serait assez compliqué, je pense. Le maïs, il aime quand-même bien l'eau, donc ça serait plutôt après que la recherche, qu'Agroscope, ils, voilà ils fassent... Je sais qu'ils font beaucoup de recherche justement sur des variétés qui sont plus résistantes au stress hydrique. Donc ça serait, ça serait se tourner un peu contre... pour des variétés comme ça, quoi. Parce que ouais, c'est compliqué sinon. Parce que j'ai un... Ben je ne sais pas si ça vous intéresse, vous aviez vu le réseau d'irrigation vous suivez [pas identifié] ?

**Zoe Linder:** [00:10:55] Non, je ne l'ai pas vu.

**Ludovic Gatabin:** [00:10:57] Je peux vous montrer ou bien.

**Zoe Linder:** [00:10:59] Ouais, volontiers!

**Ludovic Gatabin:** [00:11:14] [Cherche le laptop] On a de l'eau pour les cultures mais certains pays, ils n'ont même pas de l'eau pour boire.

**Zoe Linder:** [00:11:16] Ouais, exactement, c'est ça. Au moins on a ça ouais...

**Ludovic Gatabin:** [00:11:21] Et puis ça devient quand même de plus en plus marqué, hein. Si vous suivez un peu la météo actuelle mondiale...

**Zoe Linder:** [00:11:26] Ouais, ouais, exactement.

**Ludovic Gatabin:** [00:11:29] C'est voilà. Le temps là qu'on a là, il n'est pas... Il est provoqué par d'autres facteurs ailleurs quoi.

**Zoe Linder:** [00:11:34] Ouais.

**Ludovic Gatabin:** [00:12:22] [Cherche quelque chose sur son Laptop et le montre] Alors, là il y a le cycle, là c'est le cycle de prometteurs. C'est... On touche des subventions, par exemple pour le goutte à goutte, on touche 1500 francs par hectare, par exemple. Ça nous paye les 80 pour cent de l'achat si vous voulez. Ça, c'est ce qui, mais... ouais j'ai pas... [Il n'a pas de réseau, ne peut pas montrer le site] Si vous voulez, j'ai un... [regarde sur son nate] on a une fonde, qu'on a, qu'on a acquis, et puis elle nous dit, voilà, on peut réaliser justement avec une app smartphone, ça nous donne le seuil d'irrigation et puis le seuil de, de comment dire, de rétention d'eau, s'il y a trop d'eau dans le sol.

**Zoe Linder:** [00:12:59] Ah ok.

**Ludovic Gatabin:** [00:12:59] Et puis, chaque sonde elle est calculée par rapport à la culture. Donc par rapport aux besoins de la culture, elle absorbe dans le sol. Et puis c'est une aide à la décision, si vous voulez.

**Zoe Linder :** [00:13:11] Ouais, c'est super.

**Ludovic Gatabin:** [00:13:15] Mhm, ouais c'est bien ça. Comme ça, on peut regarder...parce qu'avant c'est vrai ouais on arrose plus ou moins par rapport au, à l'expérience. Mais là, on a vraiment, voilà quelque chose assez précise. Et puis on...c'est assez bien. N'a. Bon. Mais ça, ça, serait intéressant, je ne sais pas s'il faut vous renseigner peut-être sur le canton de Vaud.

**Zoe Linder:** [00:13:40] Ouais, ça serait intéressant, ouais.

**Ludovic Gatabin:** [00:14:35] [Regarde sur son natel] On a un group et puis...Alors voilà.

**Zoe Linder:** [00:14:49] Super ouais... ouais, sinon je crois que j'ai tout demandé.

## **A.7 Interview transcript Andreas Bühler, Oppens VD (06.07.2021)**

**Andreas Bühler:** [00:00:10] Du bist auf das erdenklich dümmste Jahr getroffen. Dieses Jahr haben wir keine Probleme mit Trockenheit. Ansonsten ist unser Betrieb abhängig von einer Pumpstation im Bach. Das heißt, wir benutzen Oberflächenwasser, Gewässer zur Bewässerung unserer Kulturen. Wir haben ein eigenes Bewässerungsnetz mit Hydranten auf sämtlichen Parzellen., das gespiesen wird von einer Pumpe, die im Bach, der "Sauteru" heißt... Daraus pumpt. Und das ist einer kantonalen Bewilligung unterlegen und wenn der Wasserstand zu tief ist, und vor allem wenn die Wassertemperatur zu hoch ist, dann wird diese Bewässerung zuerst beschränkt und irgendwann total eingestellt. Und das ist seit 2003, wo wir einen Hitzejahr hatten und zum ersten Mal diese Probleme auftauchten, ist es zirka vierzehn Mal passiert, das heißt eigentlich zirka 75 Prozent der Jahre wird früher oder später die Bewässerung für uns verboten aus diesem Oberflächengewässer. Und das heißt, wir müssen dann aus Trinkwasserreserven unsere Kulturen bewässern, im Freiland, und das ist mit Mehrkosten verbunden. Und das ist schlecht.

**Zoe Linder:** [00:01:54] Okay. Und genau dann wird einfach von anderen Quellen Wasser bezogen? Und gibt es sonst irgendwie... Z.B. bewässern Sie während der Nacht eher als während dem Tag?

**Andreas Bühler:** [00:02:09] Ja, eigentlich bewässern Wir sowieso kulturtechnisch nur frühmorgens oder spätnachmittags oder abends. Theoretisch dürfen wir den ganzen Tag über pumpen, was dann als erster Schritt eingeschränkt wird. Und wir haben jetzt gemerkt vielfach ist gar nicht die Wassermenge, die verbleibt, das Problem, sondern die Temperatur, die steigt im Sommer, und irgendwann für die Lebewesen im Wasser zum Problem wird. Ich denke zusätzlich, das haben wir hier noch nicht so auf dem Tisch wie zum Beispiel im Kanton Zürich, ist bei kleinen Fließgewässern wie hier bei uns irgendwann auch das Problem, dass im Sommer, denke ich 30 bis 50 Prozent vom verbleibenden Wasser nur noch aus Abwasserreinigungsanlagen stammt und unter Umständen auch hygienisch nicht mehr hundertprozentig verhält.

**Zoe Linder:** [00:03:09] Okay, okay, mhm, gut.

**Andreas Bühler:** [00:03:12] Bei uns geht das dann so, falls das Wasser... Die Wasserentnahme verboten wird, müssen wir zirka eine 1 Kilometer lange Leitung ziehen, bis zum nächsten Löschwasseranschluss und dann beziehen wir von der Gemeinde Wasser, das aber weiter von Lausanne bezogen wird, über das Netz, und das wird dann mit zwei Franken pro Kubikmeter verrechnet, plus 50 Rappen Zusatz, weil die das auch zusätzlich pumpen müssen.

**Zoe Linder:** [00:03:47] Okay, also ist viel teurer als vom Bach.

**Andreas Bühler:** [00:03:49] Ja, wir rechnen aus dem Bauch pumpen mit der Amortisation der eigenen Installation ist der Kubikmeter, Ich sage jetzt mal so zwischen 70 und 80 Rappen bis ein Franken ist das erträglich, und wenn es dann auf 2 Franken 50 geht, gibt es für uns eigentlich nur noch die Lösung, zu sortieren, was wir... Was ist überlebenswichtig und was nicht.

**Zoe Linder:** [00:04:12] Ja, klar. Und für die Kulturen, die sie haben, welche Kulturen werden vor allem bewässert?

**Andreas Bühler:** [00:04:19] Bei uns ist das die ganze... Die ganze Diversität an Salaten: Verschiedene Kopfsalate, Batavia, Eisbergsalate, Eichblattsalate. Da haben wir die Wahl nicht. Die müssen sowohl sofort nach der Pflanzung, also auch nachher je alle zwei Tage bewässert werden. Dann haben wir aber auch die Kulturen umgestellt. Wir haben Fenchel z.B. machen wir heute mit Direktsaat...

**Zoe Linder:** [00:04:46] Okay

**Andreas Bühler:** [00:04:48] Da wird in Kürze ein Artikel kommen im Gemüsebau, weil wir gemerkt haben, dass wir da nur Wasser brauchen, bis der Samen aufgelaufen ist und dann, weil die Wurzel tiefer ist und kein Wachstumsstopp durch die Verpflanzung brauchen Wir weniger Wasser. Zucchetti z.B. sähen wir auch alles direkt, und die bewässern wir gar nicht.

**Zoe Linder:** [00:05:10] Ja

**Andreas Bühler:** [00:05:12] Und so versuchen wir uns ein bisschen in die Kulturen zu spezialisieren im Freiland, die man nicht bewässert. Dann haben wir auch noch etwas über vier Hektaren und Gewächshäuser, und da ist alles mit Tropfbewässerung. Und das ist obligatorisch vom Netz, da müssen wir Trinkwass... Trinkwasserqualität haben. Da stellt sich die Frage sowieso nicht.

**Zoe Linder:** [00:05:33] Ah da nehmen Sie nicht vom Bach?

**Andreas Bühler:** [00:05:37] Nein.

**Zoe Linder:** [00:05:37] Nein, okay.

**Andreas Bühler:** [00:05:37] Ein Teil... Wir haben einen, Zweitbetrieb in Ependes in... an der Autobahn neben Chavornay. Und dort haben wir Meteowassertanks. Das heißt, wir sammeln das Wasser vom

Gewächshausdach, haben eine eigene Quelle, plus zusätzlich noch den Wasseranschluss von der Stadt Yverdon und dann schauen wir, dass die Wasserhärte immer etwa gleich ist und mischen zusammen.

**Zoe Linder:** [00:06:03] Okay, okay, mhm. Und so... Eben kulturentechnisch, sehen Sie da noch Potenzial, wie man... oder welche Kulturen man sozusagen besser anpflanzen kann mit wenig Wasser? Also wenn jetzt das Wasser wirklich knapp wird, sozusagen, und man eben ein bisschen umstellen muss...

**Andreas Bühler:** [00:06:27] Landwirtschaftliche Kulturen haben wir auch 25 Hektar. Getreide, Urdinkel, Zuckerrüben, Raps und so weiter. Aber man hat doch auch gemerkt, bei Kulturen wie der Zuckerrübe geht es eben auch nicht ohne Wasser, wenn es dann wirklich trocken ist, stimmt auch da der Ertrag nicht mehr und die Qualität nicht mehr.

**Zoe Linder:** [00:06:47] Okay, mhm. Und eben bewässerungstechnisch, so die Technik, da haben Sie...

**Andreas Bühler:** [00:06:53] Tropfbewässerung, was aber... Wie soll ich das sagen? Ich bin viel in Europa und Afrika unterwegs als Fachexperte für Rückstandsüberschreitungen von Pflanzenschutzmitteln.

**Zoe Linder:** [00:07:11] Okay, mhm.

**Andreas Bühler:** [00:07:11] Und da sieht... Muss man schon sehen, in Spanien wird enorm viel Salat angebaut mit Tropfbewässerung, weil das Wasser ein Problem ist. Die haben aber ganz andere Möglichkeiten im Herbizideinsatz, weil wir in der Schweiz und im umliegenden Ausland haben uns spezialisiert auf die mechanische Unkrautbekämpfung. Und wenn ein Schlauch da drin liegt, geht das eben nicht mehr. Da haben wir dann einen Interessenkonflikt zwischen möglichst menscheitsverträglich zu produzieren mit möglichst wenigen Pflanzenschutzmitteln oder die maximale Wasserersparnis. Das ist eine schwierige Heirat.

**Zoe Linder:** [00:07:51] Ja, ja. Und... Jetzt vom Bach... Also Sie haben gesagt, in den letzten Jahren haben Sie immer wieder eben diese Restriktionen gehabt fürs Wasserpumpen. Haben Sie eine Veränderung gespürt jetzt? Ist es mehr geworden, oder...

**Andreas Bühler:** [00:08:14] Ja ich denke, seit ähm zwischen 2000 und 2010 haben wir eine Tendenz zur... Ich spreche jetzt nicht vom Globalklima, sondern eher bei uns in der Region von wärmeren Sommermonaten gehabt mit wenig Niederschlägen. Das ist eigentlich für unseren Beruf kein Problem, weil Wasser gibt es in der Schweiz genug. Das Problem ist meistens nur die Verteilung und wie es zu uns kommt. Was hingegen seit 2010 bis heute auftritt, sind Extremsituationen wie dieses Jahr, wiederholte Gewitter, wochenweise Gewitter nach Gewitter, Gewitter mit enormen Niederschlagsmengen in kürzester Zeit. Hagelzüge, die wir vorher eigentlich weniger gehabt haben. Das gab es hier, gab es eine Apfelplantage, die haben sie aufgegeben in den 90er Jahren wegen erhöhter Hagelgefahr.

**Zoe Linder:** [00:09:16] Okay.

**Andreas Bühler:** [00:09:17] Aber das war jedes dritte Jahr einmal Hagel. Heute haben wir jedes Jahr Hagel und sind froh, wenn wir nicht dreimal, viermal in derselben Woche getroffen werden und vielfach auch



Phänomene... Wir hatten vor zwei Jahren, hatten wir einen Minitornado hier in der Region. Während zwei Tagen keinen Strom mehr, riesige Schäden in den Wäldern, aber ganz lokal. Ein Strich, ein Kilometer breit, quer. Und das sind Phänomene, die, die älteren Leute sagen, hätte es vorher weniger gegeben.

**Zoe Linder:** [00:09:52] Okay, ja, ja, gut, genau ja. Eben, ich wollte noch die Zukunft ansprechen, was man da machen könnte, sozusagen eben wenn es vermehrt zu solchen Trockensituationen kommt, aber... Eben, wenn sie auch vom See Wasser beziehen, dann ist das natürlich schon viel stabiler.

**Andreas Bühler:** [00:10:22] Das Problem ist heute, dass wir in der Landwirtschaft angewiesen sind auf die Trinkwasserversorgung, um im Notfall unsere Freilandkulturen zu bewässern. Und das kommt schlecht an.. Wenn du im Sommer mit deinen... dein Freibad nicht mehr füllen darfst, dein Auto nicht mehr waschen darfst und der Bauer nebedran bewässert Tag ein Tag aus, irgendwann denkst du, bin ich eigentlich blöd? Die Hälfte verdunstet. Ich glaube, die Zukunft liegt in Projekten, wie es im Furttal momentan ähm realisiert wird, ganz in der Nähe von dir. Da wird aus der Limmat eine Leitung gezogen, die den Hüttikerberg durchsticht, die den Gemüsebauern im Furttal und, das ist ausschlaggebend gewesen, den Golfplatz, das ist natürlich viel wichtiger, dass die Leute Golf spielen können als, dass sie essen.

**Zoe Linder:** [00:11:16] Ah ja!

**Andreas Bühler:** [00:11:19] Und ich denke, das sind Projekte mit Zukunft. Das kostet 10 Millionen, das ist eigentlich nix, wenn man denkt, was dahintersteckt. Und die Limmat hat immer Wasser. Wir haben ja das riesige Glück in der Schweiz, dass wir das Wasserschloss von Europa sind.

**Zoe Linder:** [00:11:34] Ja, ja, genau.

**Andreas Bühler:** [00:11:36] Ich denke nur, wir sind vielleicht zu sehr konzentriert auf kleine und kleinste Oberflächengewässer. Im Kanton Zürich war ausschlaggebend, dass eben Bäche wie der Furtbach irgendwann nur noch aus Abwasserreinigungsanlagen gespiesen wurden im Sommer, und da hat man schon gemerkt, dann sind dann die Escherichia coli und so weiter auf dem Salat doch omnipräsent. Aber ich denke, es gibt auch am Genfersee mehrere Projekte, Leute, die vor 40 Jahren parallel zum Trinkwassernetz ungereinigtes Wasser aus dem See gegen den Berg gezogen haben zu Bewässerungszwecken. Weil das reicht ja, es braucht die ganze Aufbereitung nicht. Einfach denke ich, muss das mitfinanziert werden. Wir hatten ein Projekt von Yvonand aus, Wasser hier hochzubringen. Bei uns ist das Problem, wir haben den Höhenunterschied, es geht bis 800 Meter hier, Yvonand ist 430. Das braucht nachher riesige Pumpenanlagen, aber das wäre die Zukunft denke ich.

**Zoe Linder:** [00:12:44] So von Weitem Gewässer, ja, okay.

**Andreas Bühler:** [00:12:50] Und ich denke der Neuenburgersee, der wird sich keinen Millimeter bewegen, auch wenn da noch ein paar Bauern ihre Kartoffeln und Salate bewässern.

**Zoe Linder:** [00:12:56] Ja, ja, eben das ist das gute mit den Seen, dass wird da...Buffern können genau.

**Andreas Bühler:** [00:13:05] Wir haben ähm das Projekt aufgegeben, weil es auf 38 Millionen zustande gekommen wäre. Und ähm haben jetzt einen Antrag gemacht beim Kanton Waadt, und haben gesagt, wenn ihr das nicht mitfinanzieren wollt, okay, aber dann bitte subventioniert uns das Wasser, das wir vom Netz nehmen müssen, wenn die Pumperei abgestellt wird, damit uns das Wasser einen Franken kostet. Mit dem können wir leben. Das ist aber noch nicht entschieden.

**Zoe Linder:** [00:13:35] Okay, okay, ja, gut. Eben da ist man viel Kontakt auch mit dem Kanton oder mit... Ja gut. Ja, ja, dann, wären das schon die wichtigsten Punkte gewesen. Haben Sie sonst noch etwas, was Sie dazu sagen möchten? So allgemein. Ein wichtiger Punkt, den ich jetzt nicht angesprochen habe.

**Andreas Bühler:** [00:13:58] Es wäre schön, wenn deine Studie dazu beitragen könnte, dass uns geholfen würde.

**Zoe Linder:** [00:14:03] Ja, ich hoffe es auch.

**Andreas Bühler:** [00:14:05] Die Hoffnung stirbt zuletzt.

**Zoe Linder:** [00:14:07] Ja, gut. Dann wäre es das.

## **A.8 Interview transcript Alain Jaquemet, Corcelles VD (06.07.2021)**

**Alain Jaquemet:** [00:00:03] Alors je ne sais pas déjà quelle question vous voulez me poser...

**Zoe Linder:** [00:00:05] Ah, oui c'est...

**Alain Jaquemet:** [00:00:08] Parce que peut-être si j'explique tu avant, ben... il y aura plus besoin de poser des questions...

**Zoe Linder:** [00:00:10] Ouais exactement.

**Alain Jaquemet:** [00:00:10] Posez les questions et après on regardera!

**Zoe Linder:** [00:00:12] Alors c'est juste... Je m'intéresse surtout à toute la situation générale avec la pénurie d'eau. Comment ça se présente ici ? D'où vous pompez l'eau, s'il y a souvent des restrictions ? Quels sont les problèmes après ? Et puis quelles sont les mesures que vous vous prenez aussi pour faire quelque chose contre ? Un peu, ouais, toute la situation générale.

**Alain Jaquemet:** [00:00:39] Alors, ici on pompe habituellement de deux rivières justement, d'un l'Arbogne, qui est un petit cours d'eau et la Broye, qui est un cours d'eau plus important, donc, quand il y a des restrictions d'eau, c'est plutôt en premier l'Arbogne, puisque avant que ça sèche hein, et après, quelques jours après, la Broye. Mais la Broye ils donnent des autorisations, par exemple pour le syndicat d'arrosage, on a un syndicat d'arrosage au village, donc j'explique pour mon village hein.

**Zoe Linder:** [00:01:05] Mhm, ouais super!

**Alain Jaquemet:** [00:01:06] On a un syndicat d'arrosage. On a droit à une pompe pour la... L'Arbogne et deux pompes pour la Broye. Et puis la Broye s'ils mettent des restrictions des fois ils autorisent plus qu'une pompe

ou bien plus qu'une pompe seulement la nuit, et puis après c'est interdit quoi. Donc, la nuit il y a moins de problèmes de pomper, parce qu'il y a moins de, d'évaporation, l'eau est moins chaude, on a plus d'autorisation la nuit hein en générale. Après, personnellement, je pompe soit à la Broye et Corcelles, on a la chance d'avoir la commune qui nous donne la possibilité d'arroser à l'hydrant donc au réseau d'eau communal. Donc, on a un compteur pour tous les paysans du village pour irriguer, mais seulement la nuit, 500 mètres cubes par nuit au réseau, donc ça nous dépanne bien et ce qui est plus loin de la Broye ou s'il y a des restrictions à la Broye, on peut arroser toujours au réseau, mais comme c'est qu'un seul paysan, ça ne fait pas beaucoup, beaucoup, mais ça, ça dépanne quand même. Et puis, après les restrictions, on a souvent des restrictions. Depuis la mi-juillet, les premières restrictions. Mais je ne sais pas si vous avez déjà interrogé des gens à la Broye ou bien pas...

**Zoe Linder:** [00:02:18] Eh si, à Grandcour.

**Alain Jaquemet:** [00:02:22] Ouais, Grandcour c'est plutôt la petite glâne.

**Zoe Linder:** [00:02:24] Ah oui, c'est vrai c'était plutôt... ouais.

**Alain Jaquemet:** [00:02:25] Donc petite glâne ils sont aussi... Un petit peu comme l'Arbogne, ils sont aussi limités, c'est un plus petit cours d'eau aussi. Mais la Broye les premières restrictions qu'il y a c'est souvent depuis le 15/20 juillet, ça dépend les années. Des fois, ça tient jusqu'à début août, et puis après les pommes de terre, moi je n'ai pas de pommes de terre, donc je n'arrose pas, mais ceux qui arrosent des pommes de terre, ils ont fini d'irriguer. C'est joliment jusqu'au 20 juillet qu'ils arrosent des pommes de terre. Puis après, nous on irrigue du tabac, et puis le tabac c'est jusqu'au 10 août qu'on arrose un peu près, ça dépend les années. Donc la quand il y a des restrictions, on est des fois un petit peu embêté, mais ça va juste encore, on arrive encore à jouer. Ils donnent des autorisations encore une, deux nuits et puis on arrive à faire. Et puis après, quand c'est fini, des fois on aimerait r'arroser une fois, mais bon si c'est fini, c'est fini. Mais souvent, ils tiennent le plus longtemps possible pour nous arranger aussi, enfin ils sont assez corrects. Alors on sait qu'ils nous arrangent un petit peu parce qu'ils savent qu'on a un projet de pompage au lac hein, ça je ne sais pas si vous avez déjà entendu...

**Zoe Linder:** [00:03:30] Si, je crois que j'ai déjà entendu, mais que ce n'était pas encore réalisé, ou bien ?

**Alain Jaquemet:** [00:03:33] Là on est à l'étude préliminaire, à présent. Moi je suis au comité d'initiative, donc je suis assez au courant. Donc on prévoit pomper à Estavayer, donc ça fait loin d'ici hein, c'est 16 kilomètres. Estavayer, et puis on irriguerait toute, toute la Broye, c'est à dire... Lucens, Lucens c'est juste avant Moudon, je ne sais pas si ça vous dit quelque chose ?

**Zoe Linder:** [00:03:49] Si, ouais, j'ai déjà passé.

**Alain Jaquemet:** [00:03:51] Donc ça irait presque jusqu'à Moudon. Et puis ici, ça viendrait jusqu'à Corselles et ça prendrait tout Payerne, Granges-près-Marnand, et puis, après tout ce qui est autour d'Estavayer jusqu'à Grandcour aussi Payerne, donc c'est un grand réseau C'est un peu près 4.000 hectares, 4.000 hectares qui seraient équipés, qui seraient irrigués un peu près 600 hectares par année, qui seraient irrigués. Parce qu'on

n'arrose pas chaque année toutes les cultures, c'est surtout les pommes de terre, le tabac, exceptionnellement, des autres cultures, mais normalement, c'est surtout les cultures qui demandent beaucoup d'eau, a plus-value. Ça ne vaut pas la peine d'arroser... ça vaut la peine, ça dépend des années, mais c'est surtout on doit s'axer vraiment sur les cultures principales. Donc, une fois qu'on aura ça serait... si ça se fait, mais ça va coûter peut-être trop cher et puis on devra peut-être abandonner parce que ça sera très, très cher. Si ça se fait après, ça sera fini de pomper dans la rivière. On pompera plus qu'au lac. Donc c'est un petit peu pour ça que le canton nous donne des fois un peu plus d'autorisation parce qu'on a un projet de pompage au lac. Puis ça, c'est encore quelques années et puis après, ça sera finit. Mais ce projet, pour le moment on est à l'étude préliminaire. On va bientôt présenter le projet à l'OFAG, donc l'Office fédéral de l'agriculture, on va présenter ce projet parce qu'ils subventionnent hein, et puis au mois de septembre on présente le projet. Et puis après, il y aura une deuxième étude plus approfondie après on doit faire des contrats avec les paysans qui, s'ils participent ou pas, parce qu'ils doivent payer. Et puis après, on pourra aller de l'avant. Mais c'est très, très long hein. Et puis là ça sera un projet qui serait pompage à Estavayer. Mais je ne sais pas s'il y a déjà quelqu'un qui vous a expliqué ça ou bien pas?

**Zoe Linder:** [00:05:32] Non, non, pas exactement, pas en détail.

**Alain Jaquemet:** [00:05:34] Ce serait on pomperait à Estavayer avec la commune d'Estavayer, qui doit pomper aussi de l'eau pour la ville. Donc, la commune d'Estavayer de toute façon, ils doivent pomper. Donc ils doivent faire une nouvelle installation, tout ça, donc nous on ira avec eux. Et puis aussi le groupe e, le groupe e c'est l'électricité hein pour produire de l'énergie pour les pompages chaleur tout ça ils prendraient l'eau, la chaleur de l'eau, pour produire de l'énergie. Et puis nous on prendrait cette eau après pour l'irrigation. Donc, ce serait bien parce que ça ferait un... avant il y avait encore Elsa, Elsa c'est la Migros d'Estavayer. Ils travaillent beaucoup du Lait et c'était pour refroidir le Lait. Ils voulaient servir l'eau aussi et puis après, ils auraient pris de l'énergie pour la pompe à chaleur et après on aurait pris pour l'agriculture. Ça c'était vraiment bien. Mais là, il y a deux semaines, la Migros ils se sont retirés du projet et ils ne veulent plus. C'est dommage. Donc, à présent, on a un partenaire de moins, et c'est la Migros. Mais on a quand même toujours le groupe E donc pour l'énergie, et la commune d'Estavayer. Puis, avec ça, tout le système de pompage, il est divisé en trois plutôt que d'être tout seul. Et puis, on a aussi plus facilement des autorisations, si une commune veut pomper de l'eau potable que si c'est juste pour nous. Ça c'est un projet assez compliqué quand même.

**Zoe Linder:** [00:06:53] Et ça dure combien d'années que vous êtes déjà en train de...

**Alain Jaquemet:** [00:06:57] Alors là, on a avait fait une étude déjà à Payerne, Corcelles, Payerne, Grandcour et Chevroux, donc c'est les communes d'ici, on restait juste devant un axe comme ça. Et puis là, on avait 1800 hectares donc on avait beau... Deux fois moins, et puis on pompait nous-mêmes à Chevroux au lac. Chevroux c'est entre Estavayer et [pas identifié] mais je ne sais pas si vous le connaissez...

**Zoe Linder:** [00:07:17] Non.

**Alain Jaquemet:** [00:07:17] C'est un peu au milieu, c'est en ligne droite. Mais le problème, c'est qu'on n'avait pas de solution pour le pompage au lac. On n'arrivait pas à trouver de solution. En plus jusqu'à présent, il y a des moules, des moules marines, ça ne vous dit rien ? C'est des moules, des moules vous comprenez ?

**Zoe Linder:** [00:07:31] Ouais

**Alain Jaquemet:** [00:07:31] Et puis ils s'accrochent au tuyau, et puis avec ça, le tuyau il diminue de diamètre tout le temps, et puis, il n'y a pas de solution pour empêcher ces moules de s'agripper au tuyau. Par contre, si on pompe avec une commune, déjà ils pompent toute l'année et nous on pompe seulement 3 à 4 mois par année. Tout le reste de l'année elles ont le temps de venir les moules pour s'accrocher au tuyau. Là, si une commune, ils pompent tous les jours, elles arrivent moins s'agripper et s'il y a un problème comme c'est de l'eau potable, ils ont le droit de mettre du chlore ou bien des produits pour éviter qu'aye ces moules. Nous pour l'irrigation, si c'est seulement pour l'irrigation on n'a pas le droit. Donc, avec ça, on aurait un problème qui serait résolu à Estavayer. Donc, c'est pour ça donc là il y avait cinq ans, qu'on a commencé le projet à Payerne, on a dû abandonner. Et on est parti il y a une année, une année et demie qu'on est parti avec Estavayer. Et puis là, ce projet eh ben il va, il va durer longtemps. Je pense si dans 3 à 4 ans, si on a de l'eau, c'est déjà pas mal. Mais après, ce sera des premières conduites, après on pourra déjà prendre de l'eau, et puis après, il faudra peut-être faire encore des autres conduites plus petites. Mais on verra.

**Zoe Linder:** [00:08:48] On espère le mieux.

**Alain Jaquemet:** [00:08:51] Ouais, mais ce qui a c'est que c'est tellement coûteux, que peut-être ça ne va pas pouvoir se faire. Même si c'est trop cher, il y a des paysans ils disent non, je ne veux pas, et puis après on n'est plus assez. Alors on verra.

**Zoe Linder:** [00:09:06] Bon, ouais et alors, s'il y'a pas assez d'eau, qu'est-ce que vous faites? Ou bien c'est juste, vous avez aussi la possibilité de prendre de l'eau du réseau...

**Alain Jaquemet:** [00:09:15] Oui mais l'eau du réseau souvent c'est vrai que ça je ne l'ai pas dit mais l'eau du réseau c'est près du village où on a les champs c'est trop loin, déjà. On a plus de champs... Si on a les champs le long de la rivière, on ne peut pas amener de l'eau, c'est trop loin. Si c'est plus que 500 mètres, 700 mètres après, c'est trop loin. Donc souvent, quand il y a interdiction d'arroser on arrête d'arroser, et puis c'est fini. Et puis après eh ben des fois, nous spécialement, c'est du tabac. Donc, la qualité est moins bonne souvent. Ou la plante se développe moins bien, mais c'est comme ça. Donc dès qu'on peut plus arroser on arrête et puis après, c'est fini. Des fois, tout d'un coup il y a de nouveau 3, 4 jours de pluie peut-être plus haut les Préalpes. Et il y a de nouveau assez d'eau dans la rivière et ils r'autorisent un, deux jours et puis on peut r'arroser un, deux jours.

**Zoe Linder:** [00:10:03] Et puis ça, ça est déjà...

**Alain Jaquemet:** [00:10:06] ça aide déjà un petit peu ouais. On doit, on doit gérer entre nous les autorisations d'arrosage. Pour que tout le monde puisse arroser. Mais comme j'ai dit souvent, en fin de période au mois

d'août, les pommes de terre ils n'arrosent plus et puis c'est eux qui veulent beaucoup d'eau. Donc, s'il y a plus que le tabac. Normalement, ça suffit. S'il y a tout une, deux nuits, on arrive à faire, et c'est bon.

**Zoe Linder:** [00:10:29] Et sinon ça fonctionne comment l'organisation entre les différents paysans, je veux dire...

**Alain Jaquemet:** [00:10:35] Alors nous, on a un syndicat d'arrosage, et on a un site internet où on peut réserver des autorisations.

**Zoe Linder:** [00:10:41] Ah okay.

**Alain Jaquemet:** [00:10:43] Et puis on marque...je peux vous montrer [cherche son Laptop]

**Zoe Linder:** [00:10:47] Ouais, volontiers.

**Alain Jaquemet:** [00:10:47] Mais ça il y a que nous, à Corcelles, qui avons ça. Ailleurs ils ont pas ça, ailleurs je ne sais pas comment ils font, mais...C'est moi le président aussi du syndicat d'arrosage.

**Zoe Linder:** [00:10:56] Ah ok, mhm.

**Alain Jaquemet:** [00:10:59] Et puis donc c'est, les gens ils vont sur le site, bon c'est le même site qu'on a pour la location des machines. Si je vais sur le site arrosage, là on met... Si je vais un peu en arrière, parce qu'il y a des gens qui ont déjà arrosé avant la pluie hein.

**Zoe Linder:** [00:11:18] Ah okay

**Alain Jaquemet:** [00:11:21] Donc là, par exemple, l'Arbogne, c'est la petite rivière justement. Cette personne il a réservé de 20 heures à 8 heures du matin et après, il y a un autre qui a réservé de 10 heures à minuit. Et puis, comme ça, on réserve pour qu'on sait les gens comme ils ont réservé. Si on prend la... là c'est les deux plaques de la Broye justement, il n'y avait personne dans la Broye, parce qu'il y avait personne cette semaine-là. Ça, c'est le compteur. Mais si on prend l'Arbogne aussi, après tout d'un coup, ils avaient réservé pour le vendredi. Alors lui il a réservé de 20 heures à 11 heures, et après il a réservé la nuit d'après de 20 heures à 11 heures, parce qu'il arrose que la nuit, il ne voulait pas arroser la journée. Parce que si ça va la nuit, c'est meilleur la nuit, quand il fait chaud la journée, c'est meilleur d'arroser la nuit. Donc là, il avait réservé deux nuits de file

**Zoe Linder:** [00:12:12] Okay, et c'est seulement une personne par, je veux dire, pas deux personnes ensembles...

**Alain Jaquemet:** [00:12:18] Non deux ensembles, l'Arbogne c'est une autorisation. C'est une pompe un peu près 50 mètres cube en une heure de temps, 50 mètres cube. Alors c'est un peu près ça, mais c'est ce qu'on met un peu près normalement. Donc c'est une pompe là, et la Broye, c'est deux pompes. Et puis quand on, on met la pompe en route, on doit avoir une plaquette, une plaque métallique qu'on met à la pompe. Comme ça, le, le garde-pêche eh ben comme ça, il peut bien contrôler; c'est bon il a une autorisation. Alors les plaques, les trois plaques, il y a une de l'Arbogne, deux de la Broye, elles sont les trois chez moi. Et avant d'arroser, ils

doivent venir chercher la plaque chez moi. Donc lui par exemple à 8, À 8 heures du matin, il faut qu'il ait fini, parce que l'autre, il la prend à 10 heures le matin. Des fois, c'est même, il la prend aussi à 8 heures. Des fois, ils s'arrangent entre eux il va venir chercher directement à sa part, mais il n'a pas le droit de commencer d'arroser s'il y a un autre à l'irrigation. Parce que s'il y en a deux qui arrosent en même temps, on peut avoir des gros problèmes. Après, ils suppriment tout hein. Mais, ça joue bien, c'est bon.

**Zoe Linder:** [00:13:18] Mais ça, c'est, c'est pas toujours, je veux dire, c'est seulement des moments où il y a le canton qui dit maintenant, il faut...

**Alain Jaquemet:** [00:13:24] Non, c'est toujours qu'on a qu'une pompe. La rivière ne peut pas prendre, on ne peut pas prendre plus qu'une pompe. Sinon on prendrait trop d'eau, même s'il y a beaucoup d'eau, c'est maximum une pompe.

**Zoe Linder:** [00:13:33] C'est toujours la même quantité?

**Alain Jaquemet:** [00:13:35] Ouais, toujours la même quantité. C'est une pompe, on dit une pompe, parce qu'il y a un qui arrose avec un canon d'arrosage à la fois. Ce n'est pas deux. Et la Broye, c'est la même chose, mais deux. Pour le village, c'est pour le village de Corcelles. On a deux autorisations. Et puis non, ils ne donneraient pas plus d'autorisations parce qu'ils ont calculé sur le cours d'eau, il y a peut-être je ne sais pas, 20 droit d'arroser. Et puis nous on en a droit à deux. Payerne ils en ont peut-être 4, Granges-Marnand peut-être 3/4 aussi, et puis c'est réparti sur toute la longueur, donc nous c'est maximum deux, on ne peut pas avoir plus. Et puis on paye des droits d'arrosage pour ça. On paye 1500 francs par année pour un droit, mais 1000 francs c'est au canton qu'on paye.

**Zoe Linder:** [00:14:17] Et c'est, c'est des fois aussi qu'il y a le canton qui dit en tout, il y a seulement deux plaques...

**Alain Jaquemet:** [00:14:28] Après, quand ils restreignent oui, alors des fois ils disent, peut-être, entre Corcelles et Payerne il y a plus que une.

**Zoe Linder:** [00:14:35] Et là, vous devez, vous arranger...

**Alain Jaquemet:** [00:14:38] On s'arrange et puis... Ou bien ils disent...mais souvent ils disent c'est une la nuit pour Corcelles, on a droit à deux, ils disent plus qu'une la nuit, et puis après quand ça devient plus que une pour Corcelles et Payerne là c'est presque fini là, c'est peut-être une nuit ou deux, et puis après c'est fini. Ça veut dire qu'il y a plus assez d'eau. Et puis souvent, l'eau elle va plus tellement... Quand ils vraiment ils arrêtent tout, l'eau elle est déjà vaseuse, elle est après très, elle est verte un peu l'eau. Alors nous pour arroser le tabac on n'aime pas parce qu'après ça salie le tabac, et puis il reste sale, s'il n'y a pas de pluie. Donc on aime plus tellement quand c'est vraiment trop chaud l'eau.

**Zoe Linder:** [00:15:14] Ouais, ouais ça je je pense. Et vous avez aussi vu une différence maintenant les dernières années que il y avait, ça a augmenté la, la pénurie d'eau ?

**Alain Jaquemet:** [00:15:29] Non, c'est assez stable. C'est tout le temps assez difficile, mais c'est stable. Les rivières, le problème qu'il y a c'est que souvent, elles montent, il y a beaucoup de pluie, il y a un orage, ça monte, et le lendemain, c'est de nouveau tout en bas. Ça ne dure pas très longtemps. Alors là, mais c'est vrai que cette année, on a eu beaucoup de pluie. Peut-être qu'il y a plus de ruisseaux qui viennent dedans, qu'il y a un petit peu plus d'eau quand même. Donc je pense cette année, on n'aura pas... Si tout d'un coup, il y a le sec un mois, on n'aura peut-être pas de restriction, parce qu'on a quand même plus d'eau qui vient comme il y avait beaucoup de pluie. Mais souvent, c'est chaque année la même chose. Il y a chaque année pas assez d'eau au mois d'août.

**Zoe Linder:** [00:16:04] Des années comme 2003, ou comme ça là il y avait quand même plus...

**Alain Jaquemet:** [00:16:09] 2003, c'était la sécheresse. Alors c'était... Alors ouais, il faudrait peut-être rester à ça quand il fait vraiment chaud, c'est la chaleur de l'eau hein souvent, donc s'il devient trop chaud, ils suppriment avant, ils ont peut-être supprimé deux semaines avant, une semaine avant.

**Zoe Linder:** [00:16:23] Okay, mais sinon, ce n'était pas beaucoup plus grave, ou bien?

**Alain Jaquemet:** [00:16:28] Oui, bien sûr c'était plus grave, mais c'était plus grave...C'était l'ensemble qui était plus grave. Il faisait de toute façon trop chaud. Donc même si on arrosait, deux jours après, c'était de nouveau tout sec, c'est tellement qu'il faisait chaud. Donc, il aurait fallu arroser tous les trois jours, et puis on ne pouvait pas, donc même sans restriction, il y avait quand même un problème en 2003.

**Zoe Linder:** [00:16:50] Ouais. Et alors, comme mesure, est-ce que... ouais il y a par exemple des projets comme celui-là du lac de Neuchâtel. Mais je veux dire aussi, en tant que culture, d'avoir d'autres cultures ou d'autres façons d'irriguer...

**Alain Jaquemet:** [00:17:07] Ouais, il y aura d'autres façons d'irriguer. Mais c'est assez compliqué, comme dans les cultures où on change chaque année. Si, par exemple, c'est une culture comme les arbres fruitiers, ils peuvent mettre des goutte à goutte, ou bien comme ça. Mais nous chaque année, on change de culture, alors on, il y a des goutte à goutte, mais c'est très, très compliqué. Alors, goutte à goutte, on gagne beaucoup d'eau, eh ben je pense que vous savez quoi.

**Zoe Linder:** [00:17:27] Ouais, c'est ça que j'ai entendu.

**Alain Jaquemet:** [00:17:27] C'est par rapport beaucoup moins. Mais nous on arrose tout avec des canons, donc des enrouleurs, et puis les jets au bout. Mais ici, dans la région, c'est tout, les pommes de terre, c'est tous les canons. Alors si on peut arroser la nuit, c'est beaucoup mieux, parce qu'il y a moins d'évaporation la nuit. Si on arrose la journée, c'est vrai quand il fait 30 degrés il y a déjà la moitié qui part. On n'aime pas tellement arroser la journée.

**Zoe Linder:** [00:17:54] Et alors, vous changez chaque année de culture?

**Alain Jaquemet:** [00:17:59] Chaque année, le tabac, par exemple, c'est tous les 4 à 5 années à la même place.



**Zoe Linder:** [00:18:05] Ah, okay.

**Alain Jaquemet:** [00:18:06] Donc c'est pour ça que c'est difficile de, on plante chaque année, donc c'est une culture annuelle, donc de mettre des goutte à goutte, c'est très coûteux aussi, ça veut dire de dérouler le tuyau. Après, peut-être, qu'on ne va pas irriguer, comme cette année, on aurait mis des tuyaux à la plantation, puis on ne va peut-être pas irriguer.

**Zoe Linder:** [00:18:21] Ouais, c'est ça.

**Alain Jaquemet:** [00:18:23] Alors, quand il y a le, un canon, c'est plus facile vu qu'on arrose au dernier moment on le déroule et puis on arrose.

**Zoe Linder:** [00:18:33] Bon ouais, je crois qu'on a parlé un peu de tout ce qui m'intéresse.

**Alain Jaquemet:** [00:18:40] Vous, ce que vous voulez savoir, c'est surtout les restrictions.

**Zoe Linder:** [00:18:43] Oui, et puis juste en général. Comment vous le gérez, et puis... parce que, comme je fais ces cartes, mais c'est aussi un peu pour savoir quand je parle avec des gens, pour savoir ce qu'on peut faire dans des situations où vraiment, on ne peut plus prendre de l'eau des rivières et ouais, c'est ça.

**Alain Jaquemet:** [00:19:04] Alors c'est clair que ceux qui sont le long de l'Aare ou bien comme ça il n'y a pas de soucis, ils pompent toute l'année, quoi.

**Zoe Linder:** [00:19:09] Ouais, ça, ça dépend des régions ou bien de la rivière, si elle est grande ou petite.

**Alain Jaquemet:** [00:19:13] Ouais, nous le problème, c'est que la rivière elle devient trop chaude quoi. C'est ça le problème.

**Zoe Linder:** [00:19:19] C'est ça, c'est pas la quantité, c'est surtout la température?

**Alain Jaquemet:** [00:19:23] Surtout la chaleur ouais. Mais bon, en général tout est lié hein, quand il y a, elle est trop chaude, il n'y a plus tellement d'eau, mais il y aurait encore de l'eau, on pourrait encore arroser, elle n'est pas sèche. Mais l'eau devient trop chaude, et puis en pompant moins, ça ne change peut-être pas beaucoup. Je pense, quand elle est trop chaude elle est quand même trop chaude mais...

**Zoe Linder:** [00:19:41] Aussi pour les poissons...

**Alain Jaquemet:** [00:19:43] C'est déjà trop chaud pour les poissons ouais,

**Zoe Linder:** [00:19:47] en tout cas, merci beaucoup.

**Alain Jaquemet:** [00:19:52] Ouais alors je ne sais pas s'il y a encore d'autres questions.

**Zoe Linder:** [00:19:55] Non, si...ouais. Non. Je crois que j'ai tout demandé. Ou bien s'il y a encore quelque chose que vous voulez dire, juste...

**Alain Jaquemet:** [00:20:02] Non, gestion d'irrigation, c'est vrai comme à présent on est un petit peu... On ne va pas réinvestir pour pomper à la Broye, parce que le mieux serait des pompes électriques. On a des pompes toujours moteur diesel, et puis ce n'est pas très bien. On n'aime pas tellement. Après on aura des pompes, si ça joue au lac, on aura des pompes électriques. Et puis c'est beaucoup plus simple pour nous après. Parce qu'on aura... Il faut un peu près 7 bar pression pour le canon au début du champ, 7 bar et puis là, il y'aura directement des 7 bar, 8 bar qui arrivent depuis Estavayer. Et puis on a pas besoin de... On a que a brancher, c'est directement sous pression, ça fera beaucoup plus simple. Là à présent on doit descendre le moteur près de la Broye, près de la rivière, pomper là avec un moteur pour mener au... C'est très, très compliqué. Après, ça sera beaucoup plus simple.

**Zoe Linder:** [00:21:02] C'est beaucoup mieux réglé et...

**Alain Jaquemet:** [00:21:04] ça sera mieux réglé, ça sera souterrain, par contre, ça coûte très cher, mais une fois que ça sera installé, ça sera plus facile d'arroser. Maintenant, c'est beaucoup de travail.

**Alain Jaquemet:** [00:21:04] ça je pense.

**Alain Jaquemet:** [00:21:15] Et puis c'est souvent à la nuit, c'est une période où on a beaucoup de travail l'été. On a souvent les moissons en même temps, on a... Et puis c'est assez compliqué.

**Zoe Linder:** [00:21:22] Et il faut toujours reconstruire aussi?

**Alain Jaquemet:** [00:21:24] Il faut contrôler aussi beaucoup plus que si c'est une pompe qui est au bord du lac, tout est réglé, ordinateur, tout ça c'est bien plus facile. ça sera plus facile après. Quand on pompe au réseau communal justement, l'eau elle est sous pression, alors il n'y a pas besoin de moteur, rien du tout, c'est beaucoup plus facile pour nous.

**Zoe Linder:** [00:21:44] Et le réseau communal il est branché... Je veux dire, ça vient d'où l'eau?

**Alain Jaquemet:** [00:21:50] On a une nappe phréatique, ça on a du... Une nappe en profondeur. Et puis, l'eau est pompée ici, à 10,15 mètres de profondeur. L'eau du robinet, c'est ça, c'est l'eau de la nappe phréatique. Donc nous, il n'y a pas les quantités, il n'y a pas trop de problèmes, car il y a toujours assez d'eau. Si on pompe pas l'eau, elle passe plus loin de toute façon donc, ils aiment bien qu'on pompe assez, il y a moins de problèmes, l'eau elle est plus saine si on pompe beaucoup, que si on pompe... Donc c'est pour ça que la commune ils sont contents quand on pompe un petit peu l'été. Mais ça ne veut pas dire que dans 20 ans, il n'y aura pas de problèmes, il y aura peut-être des problèmes après. Mais pour le moment, il n'y a pas de soucis. Il y a toujours assez d'eau.

**Zoe Linder:** [00:22:34] Mais c'est aussi, je pense que c'est plus cher aussi de prendre du réseau...

**Alain Jaquemet:** [00:22:37] Ouais c'est plus cher, c'est plus cher, mais... C'est plus cher, mais par contre, il y a quand même, comme je disais, il y a beaucoup moins de travail, beaucoup moins de soucis puisqu'elle est sous pression. Ils la vendent 60 centimes le mètre cube.

**Zoe Linder:** [00:22:53] ah okay

**Alain Jaquemet:** [00:22:54] Alors sous pression, ce n'est pas très cher. Quand on pompera au lac, elle va aussi nous coûter 50 centimes le mètre cube, elle va quand même coûter l'eau. Et puis si on de la rivière aussi il faut la pompe, le diesel pour faire tourner la pompe, ça coûte aussi hein.

**Zoe Linder:** [00:23:05] Mais c'est, en tout c'est moins cher ou bien?

**Alain Jaquemet:** [00:23:08] un peu, c'est un petit peu moins cher. J'aime mieux avoir plus facile, et puis un petit peu plus cher que compliqué.

**Zoe Linder:** [00:23:14] Ouais c'est clair. Alors c'est ça. Est-ce que vous avez encore des questions à moi?

**Alain Jaquemet:** [00:23:28] Non mais, je ne sais pas ce que je peux vous dire. On a des cartes d'irrigation, elles ne sont vraiment pas précis ces cartes, on en a... Où ils ont prévu le réseau d'irrigation, on pourra... Je ne sais pas, ça vous intéressait ?

**Zoe Linder:** [00:23:43] Ouais, ouais, ça serait intéressant, mais si...

**Alain Jaquemet:** [00:23:46] Mais c'est seulement un projet... Je peux vous les envoyer par mail.

**Zoe Linder:** [00:23:50] Ouais, ça serait chouette, volontiers alors. Non, toutes les informations comme ça c'est bien.

**Alain Jaquemet:** [00:23:55] Ouais, ça c'est le projet d'irrigation, il sera peut-être changé, mais maintenant, c'est le projet qu'on va présenter à l'OFAG.

**Zoe Linder:** [00:24:02] Ouais, c'est déjà une solution, je veux dire c'est intéressant pour moi. En tout cas, merci beaucoup !

## Declaration of consent

on the basis of Article 30 of the RSL Phil.-nat. 18

Name/First Name:

Registration Number:

Study program:

Bachelor

Master

Dissertation

Title of the thesis:

Supervisor:

I declare herewith that this thesis is my own work and that I have not used any sources other than those stated. I have indicated the adoption of quotations as well as thoughts taken from other authors as such in the thesis. I am aware that the Senate pursuant to Article 36 paragraph 1 litera r of the University Act of 5 September, 1996 is authorized to revoke the title awarded on the basis of this thesis.

For the purposes of evaluation and verification of compliance with the declaration of originality and the regulations governing plagiarism, I hereby grant the University of Bern the right to process my personal data and to perform the acts of use this requires, in particular, to reproduce the written thesis and to store it permanently in a database, and to use said database, or to make said database available, to enable comparison with future theses submitted by others.

Place/Date



Signature