

Guide de l'irrigation



Équipe du projet

Christina Dübendorfer, EBP

Andrea Marti, HAFL

Ivo Fölmli, EBP

Veronica Bozzini, EBP

Stéphane Burgos, HAFL

Liv Kellermann, HAFL

Christian Bucher, expert

Andreas Keiser, HAFL

Andreas Zysset, EBP

EBP Schweiz AG

Mühlebachstrasse 11

8032 Zurich

Téléphone : +41 44 395 16 16

info@ebp.ch

www.ebp.ch

14 mai 2024

Guide de l'irrigation_20241105.docx

Mandants : Bernard Belk, sous-directeur, Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Schwarzenburgstrasse 165, 3003 Berne. Avec la participation financière des cantons suivants : SO, GE, FR, VS, VD, ZH, TG, BL, BE

Direction du projet : Jan Béguin (OFAG)

Groupe de travail : Urs Anderegg (canton du VS), Andreas Bubendorf (canton de BL), Dominique Gärtner, Stefan Kempf (canton de BE), Rainer Messmer (canton de TG), Pascale Ribordy (canton de FR), Stéphane Capillon (OFAG)

Groupe de suivi : Thomas Hersche (OFAG), Petra Schmocker-Fackel (OFEV), Annelie Holzkämper (Agroscope), Anne van Buel (canton de VD), Lucas Wettstein, Lukas Kilcher (COSAC)

Autres experts (participants à des ateliers ou à des échanges d'information bilatéraux) : Moreno Bonotto (canton de GR), Frédéric Brand (canton de VD), Irène Forrer Kohler (canton de ZH), Christian Gmünder (Simultec), Ralph Hächler (BHQ), Peter Hänzi (canton d'AG), Daniela Hodel (Grangeneuve), Laurent Horvath (BlueArk Entremont), Christoph Johner (syndicat d'irrigation Kerzers-Fräschels), Walter Koch (Rathgeb Bioprodukte AG), Thomas Kuster (Agroscope), Reto Leumann (Arenenberg), Michael Mannale (Arenenberg), Marco Meisser (Mandaterre), Hans-Peter Misteli (canton de ZH, service des eaux), Philippe Monney (Agroscope), Marlis Nölli (Arenenberg), Susanne Preiswerk (canton de ZH), Johann Pury (Ribi SA), Florian Sandrini (Arenenberg), Olivier Stauffer (canton de VD, cours d'eau et rives lacustres), Pierre-Alain Sydler (syndicat d'irrigation Kerzers-Fräschels), Anja Taddei (canton de TG, service des eaux), Joël Terrin (Arrobroye), Murielle Thomet (hydrique), Christophe Trüb (canton des GR), Lina Tyroller (canton de TG, service des eaux), Peter Widmer (Genossenschaft Aarberg), Thomas Wyssa (VSGP)

Guide de l'irrigation : une contribution importante à la qualité de l'irrigation en période de sécheresse

Avant-propos

L'adaptation au changement climatique représente un enjeu de taille à long terme pour l'agriculture. En Suisse, les agriculteurs irriguent les cultures lorsque celles-ci souffrent de stress hydrique, afin de préserver les rendements et la qualité avec les ressources en eau disponibles. Les aides aux améliorations structurelles sont à cet égard d'une importance cruciale : les projets d'irrigation qu'elles contribuent à financer permettent d'atténuer l'impact des sécheresses, qui deviennent de plus en plus fréquentes, tout en participant au développement économique des zones rurales.

Le présent guide est destiné aux planificateurs et aux réalisateurs de projets d'irrigation subventionnés en Suisse. Il répond à un objectif : améliorer le travail de planification tout en le simplifiant. Pour concrétiser cette ambition, les porteurs de ces projets, les cantons et les ingénieurs doivent disposer d'une documentation claire. Les procédures, le déroulement des activités et les questions à traiter peuvent être différents d'un projet et d'un canton à l'autre. C'est pourquoi il conviendra de réaliser les projets de la façon la plus adaptée possible.

Ce document se fonde sur la situation actuelle de l'irrigation en Suisse. Il constitue un moyen de concevoir des projets d'irrigation qui soient conformes aux règles fixées par la loi et à l'état actuel des connaissances techniques. De cette façon, les ressources qui leur sont allouées produiront les meilleurs effets, comme le prévoit la Stratégie Améliorations structurelles 2030+. En fin de compte, le présent guide contribue à préserver et à renforcer les bases de la production agricole et la sécurité alimentaire du pays, un objectif fixé dans la Stratégie Climat pour l'agriculture et l'alimentation 2050.

Ce document, dont la réalisation a été commanditée par l'OFAG, est le fruit d'une collaboration entre la société EBP et la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL). Il a été conçu avec le concours d'un groupe de travail paritaire et d'un groupe d'accompagnement dans lesquels les cantons étaient représentés. Neuf d'entre eux ont contribué, avec l'OFAG, à son financement. Je remercie toutes les personnes et toutes les institutions qui ont participé à sa création.

Je vous souhaite une lecture enrichissante !

Bernard Belk
Sous-directeur de l'Office fédéral de l'agriculture



Table des matières

1. Vue d'ensemble	6
1.1 But et contexte du présent guide	6
1.2 Projets d'irrigation : déroulement et étapes	6
1.3 Contenus de projets d'irrigation et contenus du présent guide	8
1.4 Définition des scénarios	11
2. Analyse de situation	13
2.1 Cultures à considérer dans le dimensionnement	13
2.2 Analyse agronomique et des surfaces cultivées prises en considération	14
2.3 Impacts sur l'environnement et conflits potentiels	15
3. Propriétés pédologiques et aptitude des sols à être irrigués	17
3.1 Délimitation des zones selon les propriétés pédologiques prédominantes	18
3.2 Évaluation des risques et restrictions	19
3.3 Aptitudes des différentes zones à être irriguées	21
3.4 Gestion des risques	21
4. Besoin en eau et dimensionnement	24
4.1 Estimation approximative du besoin d'irrigation	24
4.2 Estimation du besoin d'irrigation	25
4.3 Dimensionnement de l'installation	27
4.4 Dimensionnement des réservoirs	28
4.5 Adaptations en fonction des spécificités du projet	29
5. Disponibilité de l'eau	31
5.1 Vue d'ensemble des sources d'approvisionnement en eau et examen de la situation	31
5.2 Estimation de la quantité d'eau disponible	32
5.3 Bilan des besoins en eau et de la disponibilité de l'eau	33
5.4 Gestion des déficits hydriques : mesures préventives	34
6. Efficience et monitoring	36
6.1 Concept d'efficience	36
6.2 Monitoring et indicateurs d'efficacité de l'utilisation de l'eau	38
6.3 Efficacité énergétique	40
7. Coûts et rentabilité	41

7.1	Estimation des coûts d'investissement	41
7.2	Estimation des coûts annuels	42
7.3	Répartition des coûts et tarifs de l'eau	43
7.4	Rentabilité de l'irrigation	44
7.5	Analyse de sensibilité : gestion des incertitudes	46
8.	Organisation	47
8.1	Choix de la forme d'organisation	47
8.2	Actes de fondation et règlements	50
9.	Perspectives	52

Annexes

A1	Check-list des contenus du projet par phase	53
A1.1	Initialisation	53
A1.2	Étude préliminaire	54
A1.3	Étude de projet	55
A2	Analyse de situation (chapitre 2)	57
A2.1	Justifications de la prise en considération de cultures	57
A2.2	Conflits potentiels	58
A3	Aptitude des sols à être irrigués (chapitre 3)	59
A3.1	Normes et valeurs de référence	59
A3.2	Description des risques possibles	62
A4	Besoin en eau et dimensionnement (chapitre 4)	63
A4.1	Valeurs indicatives et des modèles actuellement disponibles	63
A4.2	Analyse de sensibilité au dimensionnement	67
A5	Disponibilité de l'eau (chapitre 5)	72
A6	Efficience et monitoring (chapitre 6)	75
A6.1	Axes stratégiques pour une utilisation efficace de l'eau	75
A6.2	Exemples de calcul et interprétation des indicateurs d'efficacité	84
A7	Coûts et rentabilité (chapitre 7)	87
A7.1	Données empiriques pour les coûts d'investissement	87
A7.2	Aides pour le calcul des coûts annuels	89
A7.3	Aide pour le calcul de la valeur économique de l'irrigation	91
A8	Valeurs de référence pour calculer les besoins en eau d'irrigation	92

1. Vue d'ensemble

1.1 But et contexte du présent guide

L'irrigation gagne en importance en Suisse. Au cours de la dernière décennie, les demandes de projets d'infrastructures destinées à l'irrigation ont augmenté. Sur la base de l'ordonnance sur les améliorations structurelles (OAS), des subventions peuvent être versées par les cantons et la Confédération pour la construction d'infrastructures d'irrigation.

But et contexte du présent guide

Les projets d'irrigation peuvent varier fortement de l'un à l'autre. Le présent guide rassemble à titre de recommandation et dans une visée pratique les principes, méthodes et connaissances actuels en la matière. Il vise à offrir une base la plus uniforme possible pour permettre la planification et l'évaluation de projets, notamment les projets pour lesquels des subventions sont sollicitées. Il veut aussi offrir un cadre qui s'adapte avec souplesse à des projets divers.

Les porteurs des projets, les bureaux d'ingénieurs qui élaborent les projets ainsi que les services cantonaux des améliorations structurelles et l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) en tant qu'autorités de subventionnement sont les destinataires principaux de ce guide. Celui-ci peut également être utile à d'autres services concernés, comme les services cantonaux de l'environnement ou les autorités qui octroient les autorisations de construire.

Public cible

Le présent guide décrit des démarches générales qu'il conviendra d'adapter au lieu et aux conditions propres au projet. Son contenu repose en très grande partie sur l'expérience acquise grâce à des projets récents et sur les estimations d'experts (voir l'impressum). Il est conçu pour que les démarches présentées soient décrites indépendamment des bases actuellement en vigueur sur lesquelles elles reposent. Des valeurs indicatives et des modèles sont fournis dans les annexes.

Délimitation

Le présent guide est centré sur la planification de systèmes d'irrigation. Il ne traite de questions d'exploitation que dans la mesure où celles-ci sont pertinentes pour la planification.

1.2 Projets d'irrigation : déroulement et étapes

L'illustration 1 montre le déroulement et les étapes de la planification, de la construction, du financement et de l'organisation d'un réseau d'irrigation. Le présent guide fournit des aides pour les trois premières étapes du processus.

Objet du présent guide

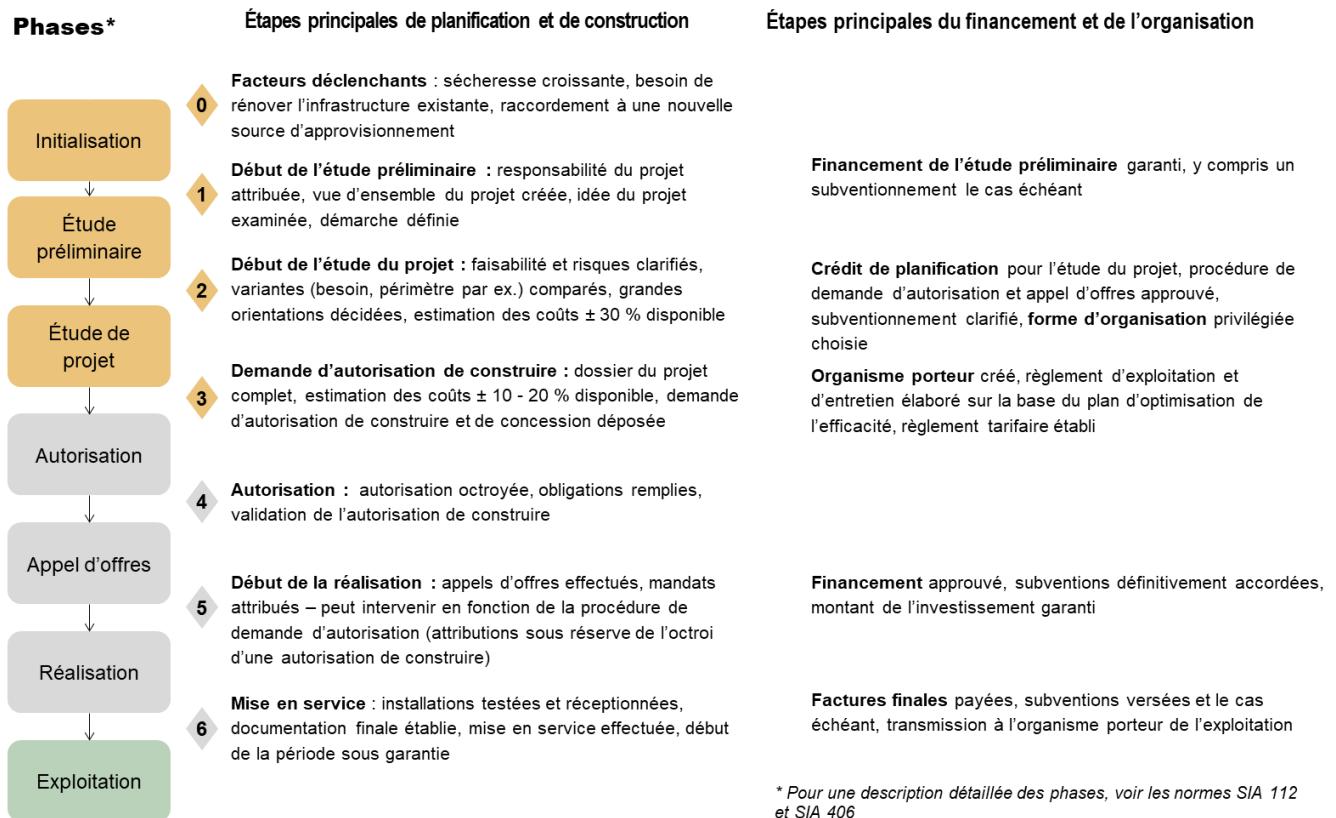


Illustration 1 Déroulement d'un projet d'irrigation avec les étapes (jalons) importantes

Les phases du projet présentées dans l'Illustration 1 reprennent le déroulement de la SIA. Elles sont présentées dans la norme SIA 112 et dans la norme SIA 406. Le déroulement présenté ne dépend pas de la taille d'un projet, et les spécificités cantonales ou les particularités d'un projet n'y sont pas incluses. Si un projet est de petite taille, les différentes tâches sont plus simples. Les phases se distinguent les unes des autres comme suit.

- Durant **l'initialisation**, il est décidé si un projet est lancé, et avec qui il est lancé. Une vue d'ensemble du projet est créée et l'idée du projet est examinée.
- L'**étude préliminaire** examine, à un coût adapté, la faisabilité du projet. Il s'agit de clarifier les conditions-cadres, d'obtenir les données fondamentales importantes (ressources en eau, débits, qualité des sols, etc.), d'examiner les difficultés et les obstacles que présente le projet, de développer des variantes et de les comparer et enfin d'établir la faisabilité du projet, y compris le fait que la charge financière soit supportable.
- Dans l'**étude du projet**, le projet est élaboré de manière détaillée pour garantir et optimiser la mise en œuvre technique, l'octroi des autorisations et le fait que la charge financière soit supportable. Parallèlement, le financement est assuré et, au plus tard au moment de la demande d'autorisation de construire, l'organisme porteur, qui est responsable de la mise en œuvre du projet et qui le finance, est défini, et formellement créé le cas échéant.

Initialisation, étude préliminaire, étude du projet

* Pour une description détaillée des phases, voir les normes SIA 112 et SIA 406

Le service cantonal des améliorations structurelles est le premier service à contacter pendant l'**initialisation**, pour discuter le plus tôt possible de la démarche, du projet envisagé, des exigences ainsi que des contributions financières potentielles pour la planification. À titre d'aide pour la discussion concernant les exigences posées pour le dossier du projet, une check-list est donnée à l'annexe A1. Les projets de taille modeste qui concernent une seule exploitation peuvent par exemple être élaborés avec un degré de précision moindre. La vue d'ensemble des exigences, établie d'un commun accord, peut aussi servir de check-list pour vérifier si le dossier est complet.

Concertation avec le service cantonal des améliorations structurelles concernant le degré de détail des contenus

Les deux phases de projet que sont l'**étude préliminaire** et l'**étude du projet** ont des contenus et une démarche similaire ; toutefois, l'étude du projet est plus détaillée. La subdivision détaillée prévue par la SIA pour l'étude de projet, avec les phases partielles d'« avant-projet », de « projet de l'ouvrage » et de « projet de mise à l'enquête », n'est pas intégrée. En effet, selon la taille du projet d'irrigation, élaborer un avant-projet élargi ou un avant-projet et un projet de mise à l'enquête est suffisant.

Degré de précision adapté et étapes de planification judicieuses

Le choix et, si nécessaire, la création de l'organisme porteur ainsi que la clarification du financement nécessaire à la planification, à la construction et à l'exploitation des systèmes d'irrigation se déroulent parallèlement à l'élaboration du dossier du projet.

Organisation et financement

1.3 Contenus de projets d'irrigation et contenus du présent guide

L'illustration 2 montre un exemple de plan d'ensemble d'un périmètre d'irrigation avec des éléments typiques d'une infrastructure d'irrigation.

Projets différents, contenus semblables

Un élément fondamental de tout projet d'irrigation est la taille du périmètre et ses caractéristiques. Le périmètre peut évoluer au cours de l'étude du projet. Des éléments essentiels à toutes les phases du projet sont la délimitation du périmètre, la clarification de la propriété et le choix des participants au projet (voir aussi le thème « Organisation du projet » aux tableaux A1.1, A1.2 et A1.3 de l'annexe A1).

Tous les projets d'irrigation présentent généralement les mêmes éléments essentiels d'infrastructure : une prise d'eau, une station de pompage, un réseau de conduites principales et des conduites pour la distribution dans les différentes parcelles. Selon les cas un ou plusieurs réservoirs peuvent être connectés au réseau¹. Toutefois, les dimensions et la complexité peuvent varier très fortement d'un projet à l'autre, tout comme la situation initiale, qui peut aller d'une nouvelle construction à un agrandissement en passant par une rénovation ou à l'adaptation de la source de l'alimentation en eau.

¹ L'annexe A7.1 fournit des récapitulatifs plus détaillés concernant les investissements et les infrastructures.

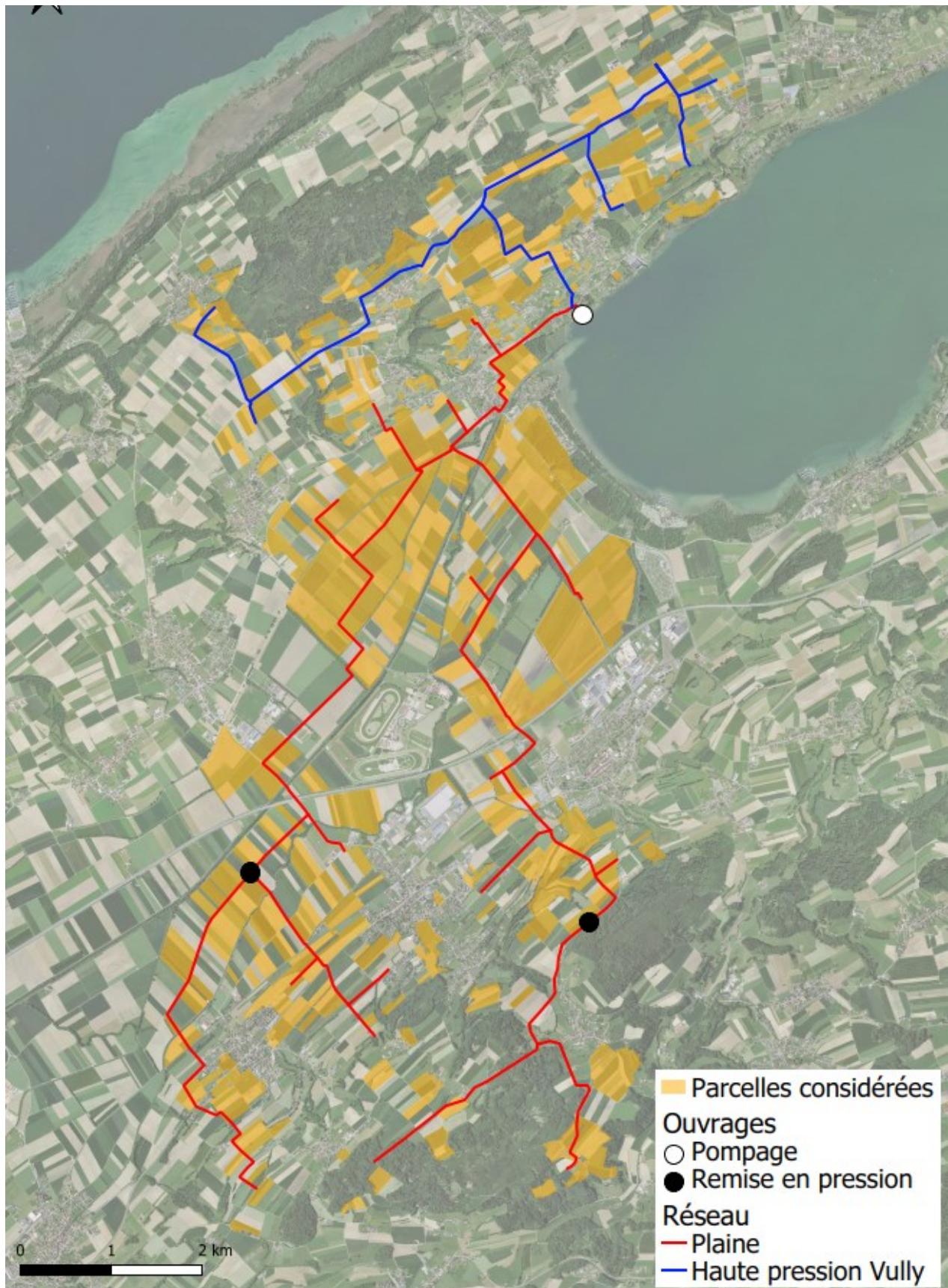


Illustration 2 Exemple d'un plan d'ensemble

Le présent chapitre 1 donne une vue d'ensemble du déroulement et des contenus d'un projet d'irrigation. Les chapitres suivants servent d'aide et de référence pour les différentes thématiques. L'illustration 3 donne une vue d'ensemble et renvoie aux différents chapitres. Les aspects techniques et les aspects qui concernent la construction constituent fondamentalement la tâche des bureaux d'ingénieurs ; aussi ne sont-ils pas décrits.

Contenu du présent guide

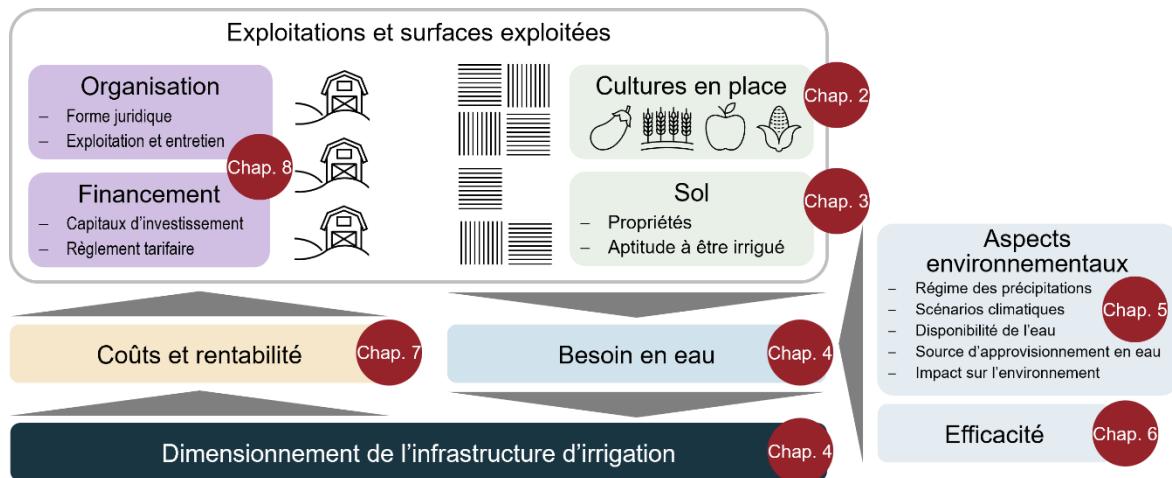


Illustration 3 Vue d'ensemble des contenus d'un projet d'irrigation avec renvois aux chapitres du présent guide de l'irrigation

Il faut que les exploitations intéressées se fassent dès le début du projet une idée d'ensemble, dans les grandes lignes, des contenus du projet comme ils sont présentés dans l'illustration 3. La vue d'ensemble des surfaces exploitées et des cultures principales et intermédiaires en place est l'un des fondements du projet d'irrigation : durant le projet, les cultures et les surfaces qui seront irriguées sont sélectionnées sur cette base par exemple (se reporter au chapitre 2.1).

Vue d'ensemble initiale : exploitations intéressées et leurs surfaces et cultures

Il est primordial de connaître les propriétés pédologiques du périmètre pour évaluer les besoins. Procéder à une analyse soigneuse des risques et prendre les mesures nécessaires assure à la fois le maintien de la fertilité du sol et un arrosage économique et efficace (se reporter au chapitre 3). On évite aussi des pertes en eau puisque l'irrigation est ajustée en fonction de la capacité de rétention du sol.

Propriétés et fertilité des sols

Le besoin en eau des cultures est déterminé par un grand nombre de facteurs. Il est utilisé pour dimensionner l'infrastructure d'irrigation (se reporter au chapitre 4). En plus des cultures et des surfaces devant être irriguées, d'autres facteurs jouent aussi un rôle dans le dimensionnement : ce sont les propriétés pédologiques selon le chapitre 3, la disponibilité de l'eau en fonction des saisons selon le chapitre 5 et une utilisation efficace de l'eau selon le chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

Détermination du besoin en eau et dimensionnement

Les coûts d'investissement et les coûts annuels sont estimés au chapitre 7 en fonction du dimensionnement des infrastructures d'irrigation. Évaluer la rentabilité permet de garantir que ces infrastructures ne sont pas construites pour des surfaces qui présentent un rapport coût-utilité défavorable.

Coûts et rentabilité de l'irrigation

En général, plus un projet est vaste et complexe, plus l'élaboration de ses contenus demande du travail. Par exemple, les comparaisons des variantes constituent les fondements sur lesquels les grandes orientations sont décidées ; mais elles

Démarche itérative et comparaisons des variantes

demandent aussi parfois que certains contenus présentés à l'Illustration 3 soient élaborés à plusieurs reprises, pour différentes variantes notamment. De plus, les contenus sont souvent élaborés de manière itérative (voir l'Illustration 4), ce qui permet de les approfondir au fil de l'étude du projet et de les optimiser compte tenu des conditions et des besoins.

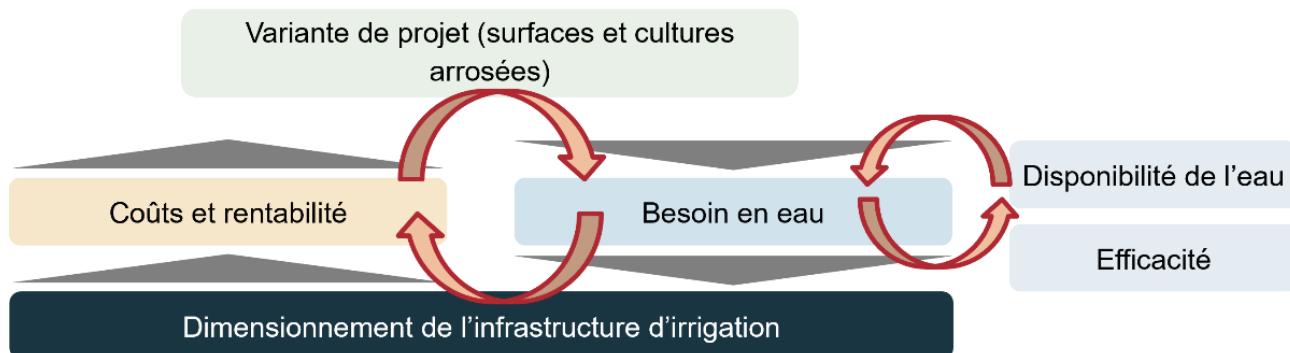


Illustration 4 Démarche itérative d'élaboration et d'optimisation des contenus

Il faut choisir une forme d'organisation judicieuse pour la construction ainsi que l'exploitation et l'entretien à long terme de l'infrastructure d'irrigation (se reporter au chapitre 8). Il faut aussi que les coûts annuels soient couverts par des tarifs adaptés, à même d'assurer du point de vue financier l'exploitation et la conservation de l'infrastructure.

Organisation et financement

1.4 Définition des scénarios

Le présent guide prévoit quatre scénarios et deux périodes, qui présentent des conditions climatiques et des surfaces de culture différentes.

Quatre scénarios

- La situation actuelle constitue le point de référence avec les surfaces cultivées actuellement (proposition : derniers trois à cinq ans) et les conditions climatiques qui règnent actuellement (proposition : période 1991-2020 ou plus récente).
- Les scénarios futurs portent sur l'année 2060 (période 2045-2075, ou > 30 ans à partir du moment donné de la réalisation). Au sujet des conditions climatiques, le scénario retenu (RCP8.5) est celui sans mesures de protection du climat au niveau global. Ce scénario est également recommandé pour les prévisions relatives aux futures surfaces cultivées.
- S'agissant des conditions climatiques et des valeurs qui dépendent de ces conditions, (le besoin en eau, la disponibilité de l'eau), on distingue une année normale et une année sèche. Là où l'on ne dispose pas de ces valeurs, ou en guise de valeurs de comparaison, on peut se fonder, pour le présent, sur des périodes plus courtes ou sur des valeurs empiriques d'une année moyenne et d'une année sèche.

L'Illustration 5 représente de façon schématique comment ces quatre scénarios s'emploient pour traiter différents aspects. Les scénarios futurs intègrent l'évolution, liée au changement climatique, du besoin en eau et de la disponibilité de l'eau. Ces scénarios sont par exemple utiles pour estimer les investissements

Choix des scénarios selon l'aspect traité

dans la construction de conduites dont la durée d'utilisation est de plus de 30 ans (se reporter aux chapitres 4 et 5). Pour d'autres aspects traités, comme la charge financière (rentabilité, se reporter au chapitre 7), l'année actuelle normale est déterminante, car il faut que l'exploitation de l'irrigation soit rentable à long terme dans les conditions d'aujourd'hui.

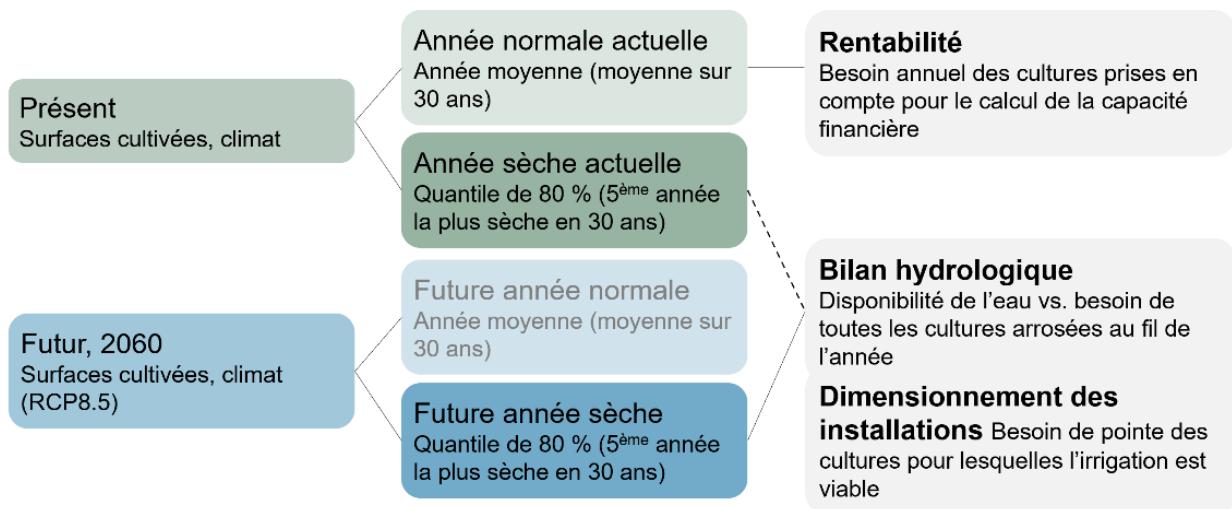


Illustration 5 Scénarios actuels et futurs à considérer en fonction des aspects traités

2. Analyse de situation

Déterminer les cultures à intégrer dans le dimensionnement et procéder à l'analyse agronomique de la situation sont des éléments fondamentaux pour tout projet d'irrigation. Le présent chapitre décrit le processus d'étude de la question dans les différentes phases du projet :

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
<ul style="list-style-type: none"> — Procéder à une première sélection des cultures à considérer dans le dimensionnement 	<ul style="list-style-type: none"> — Décider des cultures à considérer dans le dimensionnement — Procéder à une analyse agronomique de la situation — Décrire les impacts sur l'environnement et vérifier s'il y a une obligation de procéder à une étude d'impact sur l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> — Vérifier la sélection des cultures à considérer dans le dimensionnement — Vérifier l'analyse agronomique de la situation — Présenter l'approche prévue en cas de conflits entre impératifs de protection et utilisation

2.1 Cultures à considérer dans le dimensionnement

Le dimensionnement de l'infrastructure projetée consiste d'abord à estimer les besoins en eau, c'est-à-dire à déterminer les cultures qui seront prises en considération.

On considère que les cultures méritent d'être irriguées lorsque les pertes de revenu évitées grâce à l'irrigation sont supérieures aux coûts de l'irrigation. L'évaluation est faite en fonction des cultures et de leur adaptation locale². Dans le présent guide, des facteurs tels que la création de valeur, l'importance régionale d'une culture et la sécurité alimentaire sont considérés pour décider d'intégrer ou non une culture dans le dimensionnement d'une installation.

On détermine dès l'**étude préliminaire** quelles cultures sont prises en considération pour le dimensionnement. Pour ce faire, trois catégories sont distinguées dans le Tableau 1.

Pour les cultures de la catégorie II, il faut démontrer et prouver pour chaque cas pour quelles raisons la culture doit être considérée dans le dimensionnement. Voici des arguments qui peuvent justifier cette prise en considération.

- Rentabilité : la valeur créée grâce à l'irrigation dépasse les coûts de l'irrigation dans le périmètre (se reporter au chapitre 7.4).
- Valeur créée et importance économique de la culture dans la région : la culture joue un rôle essentiel pour la création de valeur dans la région ou la valeur économique est essentielle pour assurer l'existence des exploitations dans la région.

Viabilité

Cultures à intégrer dans le dimensionnement

Approche au cas par cas

2 Marbot B., Schneider M., Flury C., 2013. Wiesenbewässerung im Berggebiet. 55 S., Agroscope, Ettenhausen et Zurich.

Zorn Alexander, Lips Markus. (2016). Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton Basel-Landschaft.

— Rapport favorable entre le besoin en irrigation et le revenu garanti : Une irrigation ciblée et limitée permet d'assurer une grande partie du revenu d'une culture (maïs grain p. ex.).

— Conditions climatiques dans la région où le projet est prévu : périodes sèches fréquentes pendant les phases de sensibilité au stress hydrique des cultures.

L'annexe A2.1 indique des justificatifs pouvant être apportés pour l'argumentation.

	Catégorie I	Catégorie II	Catégorie III
Description	Utilisé pour le dimensionnement	Approche au cas par cas : n'est utilisé pour le dimensionnement qu'avec un justificatif clair et compréhensible	Actuellement pas utilisé pour le dimensionnement
Cultures	<ul style="list-style-type: none"> — Légumes, y compris comme culture dérobée — Fruits (cultures intensives) — Petits fruits — Pomme de terre — Patate douce — Vigne — Pépinières — Fleurs — Plantes ornementales — Production de plantons pour cultures maraîchères 	<ul style="list-style-type: none"> — Maïs grain — Soja — Prairies / herbages — Betterave sucrière — Tabac 	<ul style="list-style-type: none"> — Céréales — Colza — Tournesol — Pois protéagineux — Féverole — Maïs d'ensilage — Pâaturage — Millet — Lentille — Pois chiche — Lin

Tableau 1 Répartition des principales cultures de plein champ en trois catégories
L'estimation repose sur des valeurs empiriques, des avis donnés lors d'ateliers et sur les résultats d'essais³.

2.2 Analyse agronomique et des surfaces cultivées prises en considération

Il est fondamental d'analyser le périmètre du point de vue agronomique ainsi que les contraintes des lieux. Présenter les surfaces cultivées dont il sera tenu compte dans la planification est un élément essentiel de cette analyse.

Des informations sur les surfaces cultivées sont nécessaires pour planifier des projets d'irrigation. Comme le montre l'illustration 5, ces informations varient selon l'aspect traité (exemple : dimensionnement des installations, bilan hydrique, rentabilité, voir aussi les chapitres qui portent sur ces éléments). Le point de départ est constitué par les **surfaces actuellement cultivées dans le périmètre du projet**, de manière similaire aux scénarios définis au chapitre 1.4. Les bases de données à employer sont les systèmes cantonaux d'information géographique SIG ou les relevés effectués par les personnes qui dirigent les exploitations (par exemple sur les trois dernières années). S'il y a des cultures spéciales, les cultures peuvent être spécifiées par les renseignements fournis par les exploitants et, là où c'est utile, elles peuvent être regroupées, ou alors, il est aussi possible de définir des cultures de référence à des fins de simplification. Il est possible d'indiquer

Informations obligatoires concernant les surfaces

³ Zorn, M. Lips. Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton Basel-Landschaft. 7. Oktober 2016.

topagrar (éd.): Fricke, E. und Riedel, A.: Für wen lohnt das Zusatzwasser? Ratgeber Berechnung, 2019.

aussi les cultures dérobées. Les cultures qui doivent être considérées dans le dimensionnement (selon le chapitre 2.1) sont particulièrement importantes. Elles doivent être présentées comme base pour l'évaluation des besoins pour chaque classe concernée (se reporter aux chapitres 3.1 et 4.2).

Pour déterminer les volumes d'eau pour les cultures, il peut être nécessaire d'estimer les surfaces cultivées dans le contexte d'une zone plus grande (se reporter au chapitre 5.2). Le calcul doit tenir compte des cultures que l'on prévoit d'irriguer ultérieurement, après la réalisation de l'installation, et de leur impact sur les volumes d'eau nécessaires (se reporter au chapitre 5.3), ou du fait qu'elles sont intégrées dans le calcul de la rentabilité (se reporter au chapitre 7.4). Il est aussi possible, de manière facultative, de présenter des hypothèses concernant les futures surfaces cultivées (se reporter au chapitre 4.2).

Informations complémentaires sur les surfaces selon les besoins

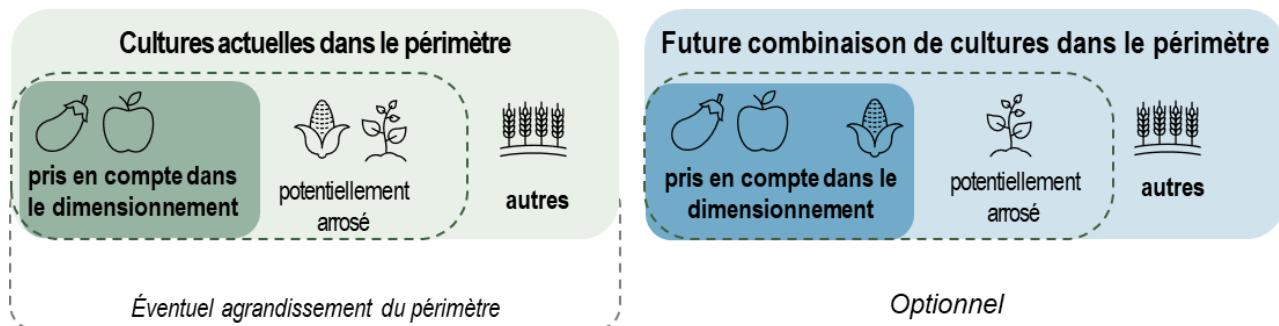


Illustration 6 Schéma des surfaces cultivées devant être présentées ; les renseignements en gras doivent être donnés pour tous les projets, pour les autres, leur indication dépend de la situation.

Les éléments ci-après font partie intégrante d'une analyse de la situation, tout comme les données concernant les surfaces.

Autres éléments de l'analyse agronomique de situation

- Structure de l'exploitation : structure actuelle et développement prévisible
- Conditions climatiques : niveaux des précipitations, températures et taux d'évaporation des différents scénarios
- Infrastructures concernées : infrastructures d'irrigation présentes et caractéristiques des techniques d'irrigation dans le périmètre, infrastructures qui présentent un potentiel de synergie (réservoirs de tiers par exemple)
- Développement régional : stratégies de développement territorial, projets prévus pour la région et interfaces potentielles.

2.3

Impacts sur l'environnement et conflits potentiels

Analyser la faisabilité d'un projet d'irrigation implique aussi d'évaluer les impacts environnementaux, de même que les éventuels conflits entre les impératifs de protection et d'utilisation.

Il n'est obligatoire de conduire une étude d'impact sur l'environnement que pour les améliorations foncières intégrales prévoyant des mesures d'irrigation sur plus de 20 ha⁴. Mais dans tous les cas, les impacts environnementaux des phases de

Obligation d'étude de l'impact sur l'environnement (EIE)

4 Ordonnance relative à l'étude de l'impact sur l'environnement (OIE)

construction et d'exploitation doivent être identifiés et estimés. Il convient de vérifier le plus tôt possible auprès des autorités cantonales compétentes quelles sont les exigences posées au rapport d'impact sur l'environnement ou à d'autres documents, et de les documenter.

L'annexe A2.2 donne une liste de conflits potentiels susceptibles de compliquer ou des restreindre la réalisation d'un projet, et propose des approches pour y faire face.

Vue d'ensemble
des conflits qui
opposent la
protection et
l'utilisation

3. Propriétés pédologiques et aptitude des sols à être irrigués

Pour qu'elle puisse fonctionner durablement et à long terme, l'irrigation doit être adaptée aux caractéristiques prédominantes du sol. Une irrigation adaptée signifie qu'elle ne doit pas entraîner de dégradation ni pour le sol ni pour l'environnement (se reporter au chapitre 2.3) et qu'elle ne doit pas être inefficace en raison de déperditions d'eau. La fertilité du sol doit également être garantie à long terme pour les surfaces irriguées.

Ce chapitre décrit le processus d'étude de la question dans les différentes phases du projet.

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
— Aucune indication	<ul style="list-style-type: none"> — Évaluer approximativement les propriétés pédologiques par zones — Évaluer les risques importants et présenter des solutions possibles — Si nécessaire, délimiter des zones qui présentent un risque élevé 	<ul style="list-style-type: none"> — Examiner les zones et les adapter si nécessaire — Délimiter et documenter les zones de risques pour lesquelles le risque est dû au sol — Définir la gestion du risque au moyen d'une stratégie pour les sols

Aussi bien dans l'étude préliminaire que dans l'étude du projet, la démarche consiste à saisir les propriétés pédologiques, à les répartir approximativement en zones, et à identifier les zones qui présentent des risques susceptibles de limiter le projet en raison des propriétés pédologiques (voir l'Illustration 7). Cette approche permet de déterminer le besoin en eau, mais aussi de prévoir des adaptations dans le choix et les réglages des équipements d'irrigation et de mettre en place une gestion adaptée du risque. **L'étude préliminaire** met davantage l'accent sur les zones pour l'estimation du besoin en eau, alors que **l'étude du projet** vise davantage à identifier les risques et à les réduire. Cette démarche permet à l'organisme porteur, dès le stade de l'étude préliminaire et sans engendrer de coûts élevés, d'estimer si le sol se prête fondamentalement à l'irrigation et si le projet est susceptible d'obtenir les autorisations nécessaires.

L'essentiel de la démarche

Durant toute la période de l'étude préliminaire et de l'étude du projet, il faut faire appel à un spécialiste des sols pour l'évaluation du sol. Ce spécialiste rassemblera et interprétera les informations sur les sols. Il ne s'agit pas du suivi pédologique de chantier (SPC), qui intervient durant une phase ultérieure du projet, pour l'élaboration des conduites, mais bien d'un accompagnement durant la phase de planification. Le volume des travaux à accomplir dans le cadre de cet accompagnement peut varier fortement selon la taille et l'hétérogénéité du périmètre.

Accompagnement par un spécialiste

L'Illustration 7 présente un résumé des résultats possibles et des étapes nécessaires de l'étude préliminaire et de l'étude du projet, selon que l'on dispose ou non de cartes pédologiques. Ces étapes sont présentées de manière plus détaillée ci-après. De plus, l'annexe A4.1 donne plus d'informations sur les normes et valeurs de référence qui peuvent être employés pour ces travaux, analyses et résultats. Les formats dans lesquels ceux-ci doivent être rassemblés dépendent

des bases d'informations disponibles et il faut les choisir d'entente avec le service cantonal compétent.

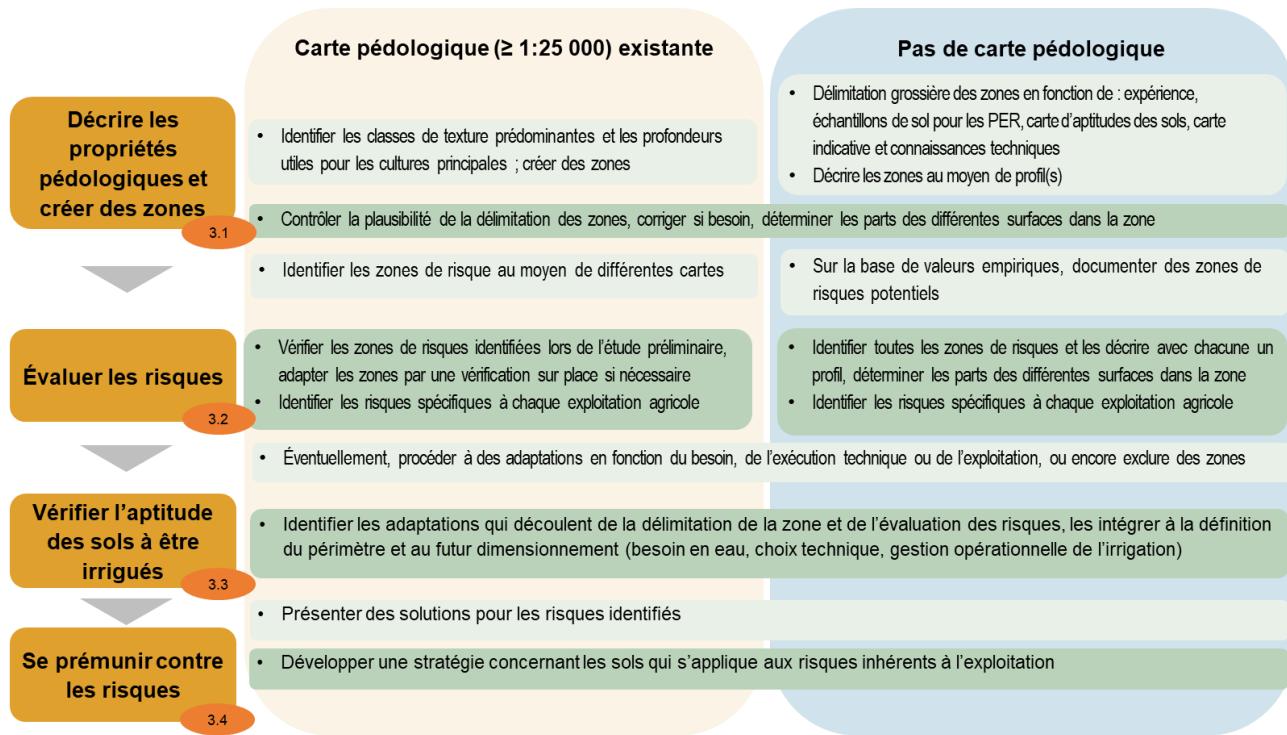


Illustration 7 Liste des étapes à suivre et des activités nécessaires pour estimer l'influence des propriétés pédologiques sur l'aptitude des sols à être irrigués. Les couleurs permettent de distinguer deux choses : présence (beige) ou absence (bleu) de cartes pédologiques de la région d'une part, et étape concernée par l'activité décrite (vert clair pour l'étude préliminaire et vert foncé pour l'étude du projet) d'autre part.

3.1 Délimitation des zones selon les propriétés pédologiques prédominantes

Il est indispensable de connaître les propriétés pédologiques du périmètre, et plus particulièrement la capacité de rétention de l'eau des sols, pour évaluer les besoins correctement et bien planifier l'installation. Cette démarche varie selon les données disponibles. S'il n'existe pas d'informations pédologiques concernant le périmètre, on s'appuie davantage sur les données empiriques avec des estimations moins précises.

L'étude préliminaire doit donner la vue d'ensemble des classes de texture et de la profondeur utile pour les cultures dans le périmètre (voir à l'annexe A3.1). Cette vue d'ensemble est nécessaire pour évaluer les besoins. Selon la taille du périmètre, on délimite une ou quelques zones représentatives pour en décrire les propriétés. La démarche à adopter varie en fonction des données disponibles :

- Il existe des cartes pédologiques ($\geq 1:25\,000$) : créer des zones en fonction des classes de texture et des profondeurs utiles pour les cultures. Il peut être utile de disposer de l'estimation d'un spécialiste des sols pour contrôler la plausibilité des données cartographiques. Les experts peuvent aussi modéliser l'évaluation des besoins au moyen de cartes qui présentent la capacité de rétention hydrique du sol.

Zones principales après la délimitation selon les propriétés pédologiques

— Il n'existe pas de carte pédologique : estimation dans les grandes lignes des classes de texture les plus fréquentes dans le périmètre, p. ex. au moyen d'échantillons de sol pour les PER (dont les informations ne portent que sur la couche supérieure du sol), au moyen des valeurs empiriques des exploitations ou au moyen des cartes indicatives des propriétés pédologiques du Centre de compétences sur les sols (CCSols)⁵. Dans ce cas, les profondeurs peuvent être estimées dans les très grandes lignes au moyen de la carte des aptitudes des sols de la Suisse⁶, mais elles sont en fait trop imprécises pour la planification. Là encore, les connaissances de spécialistes des sols sont utiles. Cette information est documentée notamment sous formes de cartes, de listes ou de descriptions simples, réalisées à la main.

— Il n'existe pas de carte pédologique : pour bien comprendre et documenter les propriétés de zones représentatives, on établit et on décrit des profils pédologiques (par exemple un profil par zone type). Si les zones sont très hétérogènes ou s'il existe de grandes incertitudes concernant les risques ou l'évaluation des besoins, il vaut la peine de décrire plusieurs profils.

Pour que les bases nécessaires à l'étude du projet soient disponibles, il faut indiquer, pendant l'étude préliminaire, quelles sont les données manquantes (informations pédologiques ou échantillons de sol pour les PER incomplets, carte des risques d'érosion lacunaire, etc.) et intégrer le relevé de ces données manquantes aux coûts de l'étude du projet.

La délimitation des zones tirée de l'étude préliminaire doit être précisée ou corrigée durant l'**étude du projet**. S'il n'y a pas eu de délimitation des zones sur la base des cartes durant l'étude préliminaire, cette délimitation doit être réalisée dans l'étude du projet. S'il manque des cartes pédologiques, la zone doit être délimitée sur une carte sous forme d'une simple représentation des zones estimées, où doivent figurer les classes de texture et les profondeurs prédominantes les plus importantes, leur emplacement dans le périmètre et leur part par rapport à la surface. Dans ce cas, il est recommandé de vérifier si la délimitation des zones est correcte en procédant à quelques sondages manuels.

3.2

Évaluation des risques et restrictions

En plus des zones dont les sols présentent des propriétés diverses, il faut représenter les zones qui comportent des risques et des limitations. Il s'agit de prévenir les atteintes à l'environnement ou une irrigation inefficace d'une part et de garantir le maintien de la fertilité du sol durant dans la phase d'exploitation d'autre part.

L'aptitude d'un sol à être irrigué est déterminée par ses propriétés. Certains sols présentent des limitations telles que l'irrigation soit ne se justifie que si elle est réalisée au moyen de techniques adaptées ou pour des modes d'exploitation agricole appropriés, soit ne se justifie pas du tout. Ces limitations doivent être identifiées pendant la phase de planification, et peuvent avoir les causes suivantes.

Description du profil de sols typiques

Comment procéder s'il manque des données

Délimitation plus précise des zones

Influence des propriétés pédologiques sur l'aptitude des sols à être irrigués

⁵ [Cartes indicatives de propriétés pédologiques \(en allemand\)](#)

⁶ Office fédéral de la statistique (OFS), [Carte des aptitudes des sols de la Suisse](#).

- **Profondeur du sol, profondeur utile** : détermine l'espace accessible aux racines et les réserves d'eau pouvant être stockées.
- **Texture et pierrosité de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol** : déterminent les réserves d'eau, l'infiltration, la perméabilité et la stabilité de la structure.
- **Structure et porosité du sol** : déterminent la perméabilité, l'infiltration, la nécessité d'un drainage.
- **État de la surface** : détermine l'infiltration, le risque d'écoulement et la résistance à l'irrigation.
- **Relief** : influence le risque d'écoulement (inclinaison et longueur de la pente), le risque d'érosion, d'inondation, et l'accumulation de l'eau dans des thalwegs ou des dépressions.
- **Niveau piézométrique** : a un effet sur l'ascension par capillarité, l'étouffement des racines, la nécessité d'un drainage et la capacité de rétention hydrique.
- **Caractéristiques chimiques des sols** : certaines caractéristiques – pH, teneur en sel, éléments nutritifs, teneur en humus p. ex. – influencent la stabilité de la structure et le lessivage des éléments nutritifs.
- **Travail du sol et rotation des cultures** : influencent l'état de la surface et la structure du sol ainsi que l'infiltration.

L'**étude préliminaire** comprend une estimation des risques les plus significatifs dans le périmètre compte tenu de l'expérience du porteur de projet et des connaissances issues de la délimitation des zones. Des risques existent lorsque les propriétés pédologiques décrites dans le Tableau 17 se révèlent défavorables à l'irrigation. Les risques possibles sont notamment les suivants : érosion, compaction, réduction de l'infiltration et de la capacité de rétention de l'eau, eaux souterraines ou zone saturée en eau, lessivage / ruissellement d'éléments nutritifs, pertes ou salinisation de l'eau, proximité avec les eaux de surface et présence de grilles de collecte des eaux claires (contact direct avec les eaux de surface). Ces risques sont décrits plus en détail à l'annexe A4.2 avec l'indication des propriétés pédologiques auxquels ils sont associés.

Identification dans les grandes lignes des limitations les plus pertinentes

Il faut porter une attention particulière à l'estimation du risque d'érosion et de ruissellement. En effet, ce risque est le plus important et il existe de bons outils pour l'analyser, comme la carte du risque d'érosion, des lignes d'écoulement et des surfaces attenantes à des eaux de surface (carte CRE2)⁷, ainsi que des méthodes d'estimation directe⁸.

Attention particulière pour le risque d'érosion

Lorsque des cartes pédologiques sont disponibles, les zones à risque peuvent être dessinées assez simplement sur la base des valeurs des cartes. Les cartes permettent aussi d'obtenir des informations concernant, par exemple : des teneurs élevées en argile, en silt ou en sable, une profondeur utile pour les plantes restreinte par une zone saturée en eau, ou les propriétés du sous-sol, des sols très

Documentation des risques avec et sans cartes pédologiques

7 Gisler S., Liniger H.P., Prasuhn V., 2014. Rapport technico-scientifique relatif à la carte du risque d'érosion de la surface agricole utile de la Suisse à l'aide d'un modèle numérique de terrain (grille ou raster de 2 x 2 mètres) (CRE2) CDE Université de Berne et ART Reckenholz-Tänikon, 123 p.

8 Prasuhn V., Fischler M., 2007 : Quelle quantité de terre perdue? Fiche technique : érosion, Revue UFA, 11, 2007, 37-44. Éd. : Agridea

perméables. Dans les régions pour lesquelles il n'existe pas de cartes pédologiques, il est possible d'établir une documentation écrite.

L'étude du projet se penche particulièrement sur les zones comportant des risques. Elles ne sont plus représentées à titre d'exemples comme dans l'étude préliminaire, mais de façon exhaustive, sur une carte. Dans l'idéal, il faut ouvrir un profil de sol pour chaque risque et chaque propriété pédologique liée à ce risque. Il faut décrire ce profil et il faut que le spécialiste des sols et l'organisme porteur en discutent. Tout comme pour la délimitation des zones (se reporter au chapitre 3.1), il faut indiquer, dans le périmètre, l'emplacement du risque et de la propriété pédologique ainsi que leur pourcentage par rapport à la surface.

Délimitation plus précise des zones de risques et estimation des propriétés pédologiques qui dépendent de l'exploitation

Par ailleurs, certaines propriétés pédologiques dépendent de l'exploitation et varient donc d'une parcelle à une autre et varient au fil du temps (p. ex. état ou sensibilité de la surface des sols, couverture du sol, compactions, teneur en humus, etc.). L'annexe A3.1 donne des informations plus détaillées sur l'interprétation de ces propriétés et sur des méthodes d'évaluation possibles. **L'étude du projet** doit comporter une estimation au niveau de l'exploitation. Le chapitre 3.5 présente de manière plus détaillée comment procéder à cette estimation.

3.3

Aptitudes des différentes zones à être irriguées

Compte tenu des risques potentiels identifiés, il pourra parfois être nécessaire d'adapter l'estimation du besoin en eau, le choix et le réglage des équipements d'irrigation ou leur exploitation. Il peut aussi être nécessaire d'exclure certaines zones du périmètre.

Les risques identifiés doivent être interprétés par rapport à l'aptitude des sols à être irrigués. Si c'est nécessaire, des consignes doivent être formulées au sujet de l'évaluation des besoins, de l'exécution technique ou de l'exploitation de l'installation. Dans de rares cas, il peut arriver que l'organisme porteur décide d'exclure certaines zones du périmètre dans **l'étude préliminaire** en raison de limitations dues aux propriétés pédologiques.

Pendant **l'étude du projet**, on procède au calcul des pourcentages, par rapport aux zones, des surfaces qui présentent des propriétés pédologiques ou des risques divers. Sur cette base, il est ensuite possible de choisir la technique d'irrigation la plus adaptée et de la régler et d'adapter l'exploitation en conséquence. Étant donné que dans l'étude préliminaire, les risques ne sont pris en considération qu'à titre d'exemple et pas pour toute la surface, il peut arriver dans de rares cas que des surfaces doivent être exclues du périmètre durant l'étude du projet.

3.4

Gestion des risques

Il s'agit de proposer des mesures de technique culturale ou des adaptations dans la technique ou la pratique de l'irrigation afin de réduire au minimum les risques identifiés. Dans l'étude du projet, on évalue les propriétés pédologiques qui dépendent de l'exploitation et, sur cette base, une stratégie de protection des sols doit être élaborée.

L'étude préliminaire présente les risques principaux à titre d'exemple en élaborant des possibilités de solutions. Cette démarche peut se faire sous la forme

d'une documentation écrite. Veuillez aussi consulter le chapitre 5, Plan d'optimisation de l'efficacité, au sujet des mesures qui concernent les cultures et la technique d'irrigation.

Si des changements sont survenus, les solutions élaborées durant l'étude préliminaire sont complétées lors de **l'étude du projet**. S'agissant des risques qui dépendent de l'exploitation, il faut concevoir une stratégie de protection des sols en reprenant les étapes indiquées à l'illustration 7. L'illustration propose aussi pour chacune des étapes, dans la partie de droite, des exemples concrets d'observations, de méthodes et de démarches pouvant être employées. Cette énumération n'est pas exhaustive. L'annexe A3.1 donne des explications plus détaillées sur les possibilités d'observation.

Stratégie de protection des sols qui intègre les risques dépendant de l'exploitation

Installer un système d'irrigation revient à créer des conditions comparables à un scénario de précipitations plutôt intenses, et il faut en tenir compte. La stratégie de protection des sols doit donc assurer que la capacité de rétention hydrique des sols est garantie et qu'elle soit aussi maintenue durant l'exploitation de l'irrigation. Il faut notamment que la structure du sol soit bonne. Il faut donc par exemple obtenir une teneur suffisante en substance organique, ou il faut encore, par exemple, que les processus biologiques et chimiques d'agrégation à moyen et long terme assurent une stabilité des pores grossiers.

La stratégie de protection des sols doit donc proposer des adaptations dans les techniques culturales et d'irrigation et propose aussi un monitoring. Le monitoring a une double fonction durant la phase d'exploitation : il doit permettre de garantir d'une part qu'une installation soit exploitée de manière efficace (se reporter au chapitre 5) et d'autre part que la fertilité du sol soit maintenue à long terme.

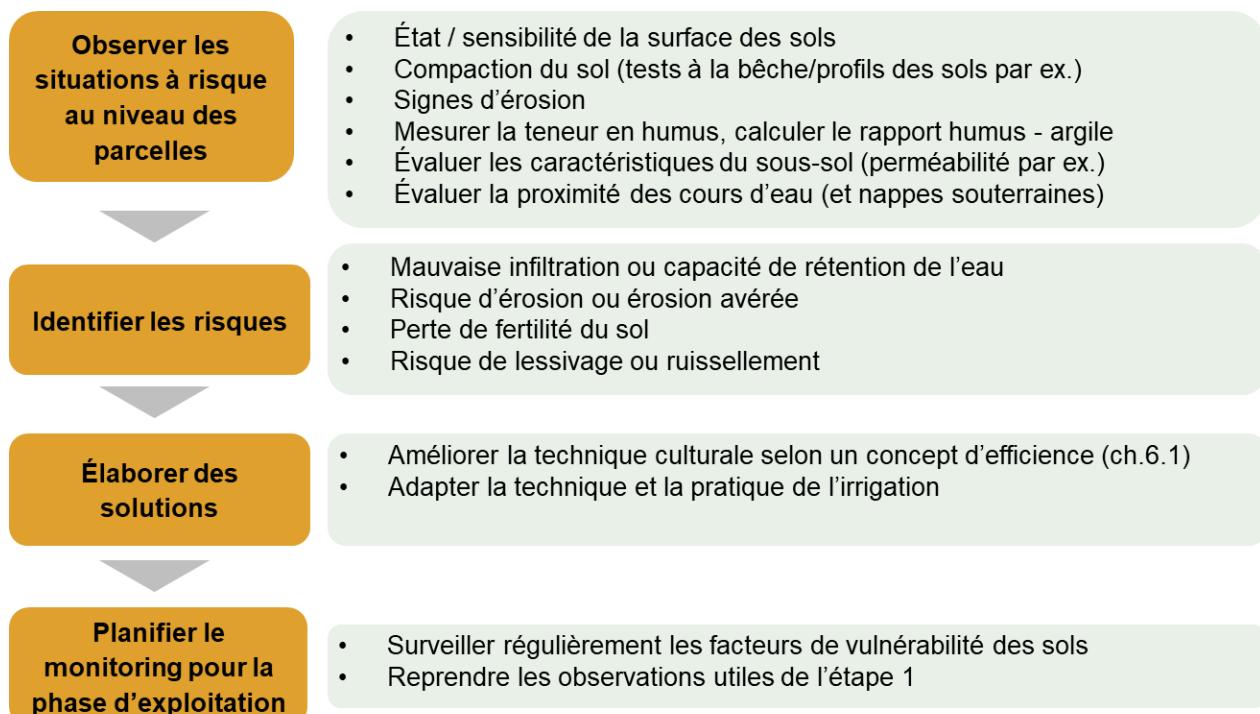


Illustration 8 Démarche (à gauche, orange), exemples et méthodes possibles (vert clair, à droite) de stratégie de protection des sols. L'annexe 3.1 présente les méthodes en question de manière plus détaillée.

Il faut également intégrer ultérieurement (pendant la phase d'exploitation p. ex.) dans le monitoring et dans les adaptations les points qui se révèlent utiles et qui n'avaient pas été identifiés comme tels jusqu'alors. L'érosion peut par exemple concerner des parcelles qui ne sont pas considérées comme à risque d'érosion sur la carte des risques d'érosion (CRE2⁹). La carte des lignes d'écoulement (qui fait partie de la CRE2) peut fournir plus d'informations. Il peut aussi arriver que des nitrates ou des produits phytosanitaires par exemple soient lessivés en raison de cultures répétées (cultures maraîchères, cultures dérobées, baux d'automne, supplément de fumure azotée, nids de gravier, écoulements préférentiels).

Mise en œuvre concrète et adaptations pendant la phase d'exploitation

⁹ Gisler S., Liniger H.P., Prasuhn V., 2014. Rapport technico-scientifique relatif à la carte du risque d'érosion de la surface agricole utile de la Suisse à l'aide d'un modèle numérique de terrain (grille ou raster de 2 x 2 mètres) (CRE2) CDE Université de Berne et ART Reckenholz-Tänikon, 123 p.

4. Besoin en eau et dimensionnement

Le dossier du projet doit contenir une estimation du besoin annuel, actuel et futur, et doit présenter les caractéristiques techniques des installations (réseau, réservoir, etc.). Il est possible de procéder à des adaptations en fonction des spécificités du projet pour compléter la méthode de référence.

Le présent chapitre décrit le processus d'étude de la question dans les différentes phases du projet :

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
<ul style="list-style-type: none"> — Estimer approximativement le besoin en eau 	<ul style="list-style-type: none"> — Estimer le besoin en eau et le pic de consommation — Dimensionner approximativement l'installation dans les grandes lignes — Dimensionner approximativement le réservoir 	<ul style="list-style-type: none"> — Estimer le besoin en eau et le pic de consommation de manière approfondie — Dimensionner l'installation — Dimensionner le réservoir

L'Illustration 9 présente de façon schématique comment procéder à l'évaluation des besoins et au dimensionnement des installations. Le dimensionnement dépend fortement de la taille du périmètre, du futur pourcentage de cultures irriguées et de la couverture du risque souhaitée durant les années sèches. Ces paramètres peuvent changer au cours de la planification. Une gestion consciente des risques doit en outre garantir la viabilité financière du projet.

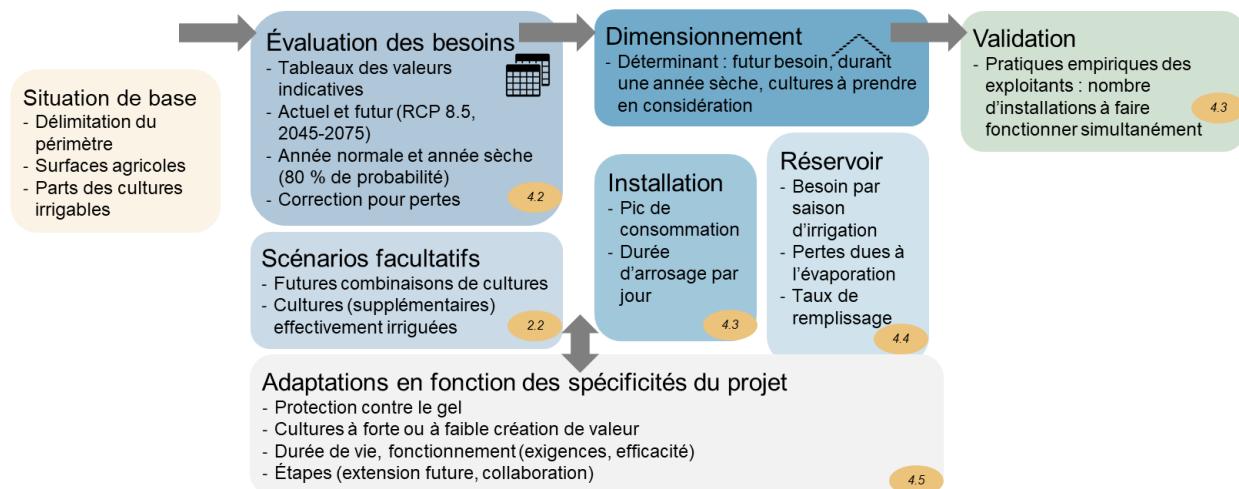


Illustration 9 Estimation du besoin en eau et dimensionnement : vue d'ensemble de la démarche et des processus d'étude du problème

4.1

Estimation approximative du besoin d'irrigation

Les valeurs indicatives relatives au besoin annuel et aux différences de rendement prévisibles forment un premier repère pour le besoin d'irrigation dans le périmètre.

La phase d'**initialisation** prévoit l'estimation du besoin d'irrigation et de la rentabilité de l'irrigation. Le Tableau 2 dresse une liste des valeurs indicatives du besoin annuel actuel d'irrigation et des pertes de rendement prévisibles sans irrigation. Ces valeurs représentent des estimations. Elles peuvent varier fortement d'une région à l'autre et d'un projet à un autre. De plus, la pertinence pour la Suisse des données provenant de régions limitrophes est limitée.

Valeurs indicatives pour le besoin annuel

Culture	Besoin annuel en irrigation [mm]	Pertes de rendement prévisibles [%]
Légumes*	50-300 (Allemagne – Geisenheim, DLR RLP) ¹⁰	15-100 % (Allemagne – Geisenheim, DLR RLP, TLL Jena) ¹⁰
Petits fruits, plein champ*	60-160 (DWA ¹² , Agroscope, estimation par des experts)	15-25 % (Geisenheim, Agroscope)
Petits fruits, substrat*	500-700 (estimation par des experts)	100 % (estimation par des experts)
Fruits à pépins	80-180 (Agroscope)	10-25 % (Agroscope)
Pruneaux	35-65 (Allemagne – DWA) ¹⁰	10-30 % (Agroscope)
Cerises	20-60 (Allemagne – DWA, LWK RLP) ¹⁰ 100-150 (installations couvertes, Liebegg, Agroscope)	10-30 % (Agroscope, LWK RLP) ¹⁰ 70-100 % (installations couvertes*)
Pommes de terre	80-140 (Allemagne – ALB Bayern, DWA) ¹⁰	20-40% (Allemagne – LWK Basse-Saxe) ¹⁰
Maïs grain	30-120 (Allemagne – LWK Basse-Saxe) ¹⁰	15-35% (Allemagne – LWK Basse-Saxe) ¹⁰
Betterave sucrière	30-160 (Allemagne – LWK Basse-Saxe) ¹⁰	0-20% (Allemagne – LWK Basse-Saxe) ¹⁰

Tableau 2 Valeurs indicatives grossières du besoin annuel en irrigation de cultures habituellement irriguées et des pertes de rendement moyennes prévisibles sans irrigation (rendement mesuré par la production commercialisable).

*Cultures non rentables sans irrigation

4.2 Estimation du besoin d'irrigation

Le besoin en eau dans le périmètre est nécessaire pour dimensionner les installations, pour garantir la disponibilité de l'eau et pour évaluer la rentabilité. Le besoin en eau est estimé au moyen de valeurs indicatives théoriques.

Chaque projet doit contenir une estimation de base fondée sur un nombre minimal de paramètres (voir le Tableau 3). En fonction de la complexité du projet, il est recommandé d'ajouter des compléments facultatifs ou de comparer diverses variantes du projet. L'évaluation des besoins est effectuée durant l'**étude préliminaire**. Si certains facteurs ont changé au cours du projet ou que des informations supplémentaires sont disponibles, il est possible de l'adapter et de l'affiner durant l'**étude du projet**.

Exigences minimales et compléments facultatifs

¹⁰ DLR RLP : Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinland-Pfalz (Rhénanie-Palatinat, Allemagne) ; TLL Jena Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und ländlicher Raum (Jena, Thuringe, Allemagne), DWA = Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Allemagne) ; ALB = Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern (Bavière, Allemagne)

Paramètres	Exigences concernant l'estimation de base	Compléments facultatifs
Scénarios (voir chapitre 1.4)	<ul style="list-style-type: none"> — Année normale actuelle (1991-2020) — Année sèche future (2045-2070, RCP8.5, 5^e année la plus sèche, couverture de risque de 80 %) 	<ul style="list-style-type: none"> — Année sèche modifiée (voir chapitre 4.5) — Année sèche actuelle (d'entente avec les autorités qui délivrent les concessions, voir chapitre 5.2)
Résolution dans le temps	<ul style="list-style-type: none"> — Deux scénarios : besoin annuel — Année sèche future : tiers de mois (voir chapitre 4.3) 	<ul style="list-style-type: none"> — Besoin mensuel (dépend de la ressource en eau disponible, voir chapitre 5.2)
Cultures	<ul style="list-style-type: none"> — Cultures à considérer pour le dimensionnement (voir chapitre 2.1) 	<ul style="list-style-type: none"> — Future combinaison de cultures prévisible¹⁾ — Pour le besoin annuel : toutes les cultures qui seront vraisemblablement irriguées (voir chapitre 2.2)
Propriétés pédologiques	<ul style="list-style-type: none"> — Délimitation de zones pour les classes de texture et pour les profondeurs utiles aux plantes (voir chapitre 3.1) 	<ul style="list-style-type: none"> — Prise en considération de zones de risque significatives par rapport à la surface

Tableau 3 Paramètres à considérer dans l'estimation de base (exigences minimales) et pour les compléments facultatifs¹⁾ Voir plus bas.

Procédure pour l'estimation du besoin.

- Choisir la station climatologique (ou plusieurs) ayant les valeurs les plus représentatives, particulièrement pour les précipitations.
- Déterminer les surfaces cultivées avec les cultures à intégrer dans le dimensionnement, divisées selon les classes de texture pertinentes (voir chapitres 2.2 et 3.1).
- Calculer le besoin d'irrigation actuel (m^3) au moyen du tableau de valeurs indicatives, par culture et par classe de texture (voir le tableau 2, annexe 4.1) :

$$\text{Besoin } [m^3] = \text{valeur indicative } [mm] \times \text{surface cultivée } [ha] \times 10 \times \text{facteur de perte}$$

Facteur de perte : irrigation aérienne¹¹ (1,25, correspond à 25 % de pertes), irrigation goutte à goutte (1,05, correspond à 5 % de pertes)

Il n'existe actuellement pas de valeurs complètes et suffisamment validées au sujet du besoin d'irrigation des cultures. Les données sont lacunaires plus particulièrement en ce qui concerne les scénarios climatiques et les cultures spéciales. L'annexe A4.1 présente les données actuellement disponibles avec leurs avantages et leurs inconvénients. L'annexe A8 émet des recommandations sur les valeurs qui devront être élaborées.

Données disponibles

Si le périmètre est déjà irrigué, les valeurs indicatives peuvent être validées en se fondant sur la pratique actuelle (besoin annuel par culture). Les éventuels écarts feront l'objet de discussions.

Il est possible d'adapter les valeurs du projet en fonction des spécificités du projet, si ces adaptations sont justifiées de manière claire et compréhensible. Voici comment procéder.

11 Enrouleur avec canon, enrouleur avec chariot porte-buses/rampe d'arrosage, sprinkler

- Description de la méthode utilisée pour les valeurs indicatives : indiquer quelles hypothèses ne sont pas valables pour le périmètre.
- Démontrer la validité des valeurs adaptées : en se fondant sur des données de mesure, sur les résultats de travaux de recherche, sur une modélisation (se référer à l'annexe A4.1) ou sur d'autres données, montrer quelles hypothèses sont au contraire valables pour le périmètre, et proposer une adaptation de ces valeurs.

Outre l'estimation décrite ici, qui repose sur des valeurs de référence, il est donc possible de procéder à des estimations en se fondant sur une modélisation (se référer à l'annexe A4.1). Une analyse de sensibilité est donnée à titre d'exemple pour montrer l'influence des différents paramètres (pour la démarche et les résultats, se référer à l'annexe A4.2). Dans l'exemple étudié, en plus des hypothèses concernant la combinaison des cultures, les facteurs suivants ont la plus grande incidence : le choix du seuil à partir duquel il faut irriguer, la classe de texture, le choix du niveau de couverture du risque pour une année sèche ainsi que d'autres paramètres de dimensionnement (calendrier d'irrigation et durée d'arrosage par exemple). Il faut donc décrire les hypothèses relatives à ces paramètres de manière transparente et compréhensible.

Autre solution :
estimation basée
sur le modèle

Si des changements concernant la surface attribuée aux différentes cultures sont prévisibles, ou que des cultures supplémentaires sont ultérieurement jugées aptes à être irriguées, il est possible de prévoir un scénario avec une future combinaison de cultures. Selon l'analyse de sensibilité documentée à l'annexe A4.2, ce sont les surfaces cultivées devant être irriguées qui ont la plus grande incidence sur l'estimation du besoin en eau. Si le dimensionnement de l'installation repose sur ce scénario, il faut justifier les hypothèses de manière claire et compréhensible. Voici les éléments à considérer :

- Situation sur le marché : présenter l'évolution des prix, l'évolution des surfaces cultivées dans la région et en Suisse ainsi que les débouchés commerciaux dans la région.
- Données relatives aux cultures : présenter l'évolution actuelle des surfaces cultivées dans le périmètre, en incluant si possible l'évolution des cultures dans un projet comparable.
- Aptitude culturale des sols et assolement : montrer que le périmètre se prête aux cultures indiquées et que les règles d'assolement¹² peuvent être respectées.
- Présenter la viabilité future (se reporter au chapitre 2.1)

Scénario pour la
combinaison de
cultures

4.3

Dimensionnement de l'installation

L'installation est dimensionnée en fonction du pic de consommation des cultures considérées pour les années sèches. Le débit maximal nécessaire et le fonctionnement annuel doivent être établis et présentés sur cette base.

L'installation doit être dimensionnée en fonction du **pic de consommation des cultures considérées pour de futures années sèches** (voir le Tableau 3). Les

Dimensionnement

¹² Union maraîchère suisse (UMS), 2012 :Exigences PER dans la culture maraîchère.

valeurs suivantes sont calculées : le débit nécessaire de l'estimation de base, celui des scénarios facultatifs et le débit nécessaire en cas d'adaptations apportées en fonction des spécificités du projet (se reporter aux chapitres 2.2 et 4.5).

Le débit nécessaire peut être calculé selon la formule qui suit. En les justifiant, il est possible d'adapter au projet le degré de précision dans le temps (tiers de mois, semaine, jour) et la durée d'exploitation (12, 14, 16 h).

$$\text{Débit [l/s]} = \frac{B_{10d} [\text{m}^3]}{JI[d] \times DE[h/d] \times 3,6}$$

B_{10d} – Pic de consommation (besoin) par tiers de mois [m^3]

JI – Nombre de jours avec irrigation. Pour des valeurs par tiers de mois : 10

DE – Durée de l'exploitation [h/jour]. Proposition : 16 heures

Il est recommandé de valider le calcul du dimensionnement au moyen d'une estimation réalisée dans le périmètre par les responsables d'exploitation. Cette estimation doit tenir compte du nombre d'installations d'irrigation exploitées simultanément. Le Tableau 4 permet de comparer les débits nécessaires, qu'ils résultent d'un calcul ou qu'ils soient fondés sur l'expérience, et d'en discuter.

En complément, il y a lieu de considérer l'évolution du débit nécessaire en l/min. au cours de l'année. Validation au moyen de valeurs empiriques

Technique d'irrigation	Valeur indicative du débit nécessaire	
	m^3/h	l/s
Enrouleur avec canon	50 ¹³	14
Enrouleur avec chariot porte-buses	17 ¹⁵	4,7
Asperseur (Sprinkler)	1-4 m^3/h et asperseurs ¹⁵	0,3-1,1 l/min et asperseurs
Micro-asperseur	25-50 m^3/h et ha	6,6-14
Irrigation goutte à goutte	0,001-0,006 (1-6 l/h) ¹⁴	0,0003-0,002

Tableau 4 Valeurs indicatives du débit nécessaire selon la technique d'irrigation

4.4 Dimensionnement des réservoirs

Le cas échéant, un réservoir doit être dimensionné en fonction du besoin des cultures considérées pour une future année sèche. Le volume prévu du réservoir doit être établi et présenté sur cette base.

Le réservoir d'eau doit être dimensionné en fonction du besoin saisonnier des cultures considérées pour une future année sèche (se reporter au Tableau 3).

$$\text{Volume du réservoir} [\text{m}^3] = B_{Saison} [\text{m}^3] \times \text{FÉ}$$

B_{Saison} – Besoin par saison d'irrigation pour une année sèche [mm]

FÉ – Facteur de correction de l'évaporation

¹³ Kocher, H. (2019). A7-VII Gemüsekulturen berechnen. Edition-Imz.

¹⁴ Michel, R. / Sourell, H. (éd.). (2014). Bewässerung in der Landwirtschaft. Erling.

La durée de la période (saison) d'irrigation dépend de la source de l'eau.

Période considérée

- Remplissage seulement hors période d'irrigation : le besoin déterminant est le besoin pour toute la période d'irrigation (besoin annuel). Il faut vérifier que le réservoir puisse être rempli avec les précipitations et les sources d'approvisionnement disponibles hors période d'irrigation ; il faut présenter ce résultat.
- Remplissage également pendant la période d'irrigation : le besoin déterminant doit être calculé pour une période plus courte, en fonction du taux de remplissage et du besoin en eau pour la période d'irrigation.

L'estimation de l'évaporation se situant entre 5 % et 15 %, le facteur de correction est compris entre 1,05 et 1,15¹⁵. Si des données sont disponibles pour le périmètre¹⁶ ou qu'elles sont tirées de l'Atlas hydrologique de la Suisse, il est aussi possible d'employer les valeurs indicatives de l'évapotranspiration de référence (ET₀) pour estimer les pertes avec plus de précision. Pour limiter l'évaporation au maximum, il faut veiller à ce que la superficie soit aussi petite que possible.

Facteur d'évaporation

Le calcul donne le volume maximal du réservoir. Il est bien évidemment possible d'opter pour un dimensionnement plus petit pour des raisons économiques (se référer au chapitre 7.1) ou relatives à l'exploitation. S'il est possible de collecter dans le réservoir l'eau de toitures ou d'utiliser une autre source d'eau en plus du réservoir, il faut également comptabiliser ces volumes pour la période d'irrigation.

Adaptations

4.5 Adaptations en fonction des spécificités du projet

Lorsqu'un projet présente des conditions particulières, il peut être judicieux de réévaluer les besoins et d'adapter le dimensionnement. Dans ce cas, il faut compléter le dossier par un scénario supplémentaire et justifier les adaptations de manière claire et compréhensible.

Il est aussi possible d'adapter la méthode de référence décrite en fonction du projet. Les raisons et justificatifs qu'il est possible de donner dans ce cas figurent dans le Tableau 5. Dans le dossier du projet, les résultats (besoin ou dimensionnement) correspondants doivent être complétés par un scénario additionnel et être présentés pour qu'il soit possible de les comparer avec la valeur de base.

15 Ebenrain und Amt für Umwelt und Energie BL. Wasserspeicher für die Bewässerung.

16 Sources possibles : MétéoSuisse, Agrometeo.

Raison	Besoin annuel	Dimensionnement	Explications et justificatifs possibles
Protection contre le gel	+	+	Dans les cultures où l'arrosage est utilisé comme protection antigel, le débit nécessaire à cette fin est souvent déterminant pour le dimensionnement, avec des besoins compris entre 25 et 50 m ³ /h par hectare selon les températures ¹⁷ . Le débit correspondant est ainsi compris entre 6,6 et 14 l/s par hectare . Le débit nécessaire est estimé en fonction de la surface du périmètre, puis comparé avec le débit requis en fonction du besoin d'irrigation (se reporter au chapitre 4.3 ou au chap. 4.4). La valeur déterminante pour le dimensionnement est la valeur la plus élevée. Il faut vérifier auprès de l'autorité qui octroie les concessions si le débit nécessaire pour l'arrosage destiné à la protection contre le gel doit aussi être disponible durant la période d'irrigation.
Adaptation de la couverture du risque pour une année sèche	+	+	Si une culture présente une très forte création de valeur, il peut être économiquement judicieux d'avoir une meilleure couverture du risque (> 80 %) en cas d'année sèche. De la même manière, il peut être judicieux de l'abaisser (< 80 %) pour des cultures à très faible création de valeur. Dans ces cas, il faut adapter les valeurs indicatives et justifier ces adaptations selon les chapitres 4.2 et 7.4.
Adaptation de la durée d'arrosage		+	Le calendrier et/ou la durée d'arrosage pourra être adapté pour des raisons légales (p. ex. interdiction durant certaines périodes) ou pour des raisons d'efficacité (p. ex. arrosage limité aux périodes de faible évapotranspiration). Dans ce cas, il faut présenter de manière claire et compréhensible le nombre d'installations qui sont exploitées simultanément et la durée d'arrosage.
Étapes futures		+	Si l'on sait que l'installation sera prochainement employée pour une région adjacente, il peut être utile de la dimensionner en conséquence. Il faut alors présenter l'état d'avancement de la collaboration de manière claire et compréhensible et intégrer au projet l'évaluation des besoins de la région en question.

Tableau 5 Raisons et justificatifs qu'il est possible de donner lorsqu'un projet est adapté en fonction de ses particularités

17 Immik, E. (2019). Wenn das Nass von oben nicht vertragen wird – Frostschutz avec Unterkronenberegnung im Steinobst. Obstbau, 1, 2019.

Estimation réalisée par des experts

5. Disponibilité de l'eau

Les projets d'irrigation dépendent d'une disponibilité suffisante de l'eau sur le long terme, tant en quantité qu'en qualité. Le présent chapitre décrit le processus d'étude de la question dans les différentes phases du projet :

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
<ul style="list-style-type: none"> — Examiner les sources d'approvisionnement en eau possibles — Vérifier les conditions générales pour le prélèvement d'eau avec les services cantonaux compétents ou les communes 	<ul style="list-style-type: none"> — Décrire les sources d'approvisionnement en eau envisagées et les quantités d'eau susceptibles d'être utilisées — Estimer grossièrement le bilan hydrique, si nécessaire adapter le projet 	<ul style="list-style-type: none"> — Déterminer les quantités d'eau susceptibles d'être utilisées et obtenir les autorisations nécessaires — Estimer le bilan hydrique de manière approfondie — Décrire la gestion des déficits hydriques

5.1 Vue d'ensemble des sources d'approvisionnement en eau et examen de la situation

La faisabilité d'un projet d'irrigation dépend essentiellement des ressources hydriques disponibles dans le bassin versant et susceptibles d'être utilisées. La planification du projet doit tenir compte des avantages et des inconvénients des différentes sources d'approvisionnement en eau.

Le prélèvement dans les eaux publiques nécessite une autorisation ou une concession. L'utilisation de l'eau relève de la souveraineté cantonale et est à ce titre régie par des lois cantonales, tandis que la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) définit les conditions-cadres. Chaque canton possède sa propre manière de procéder et ses propres bases légales en matière d'autorisation ou d'octroi de concessions de prélèvements d'eau, une compétence parfois déléguée aux communes.

Souveraineté cantonale dans le domaine de l'eau

Il est recommandé au porteur de projet de prendre un premier contact avec le service cantonal compétent en matière d'utilisation de l'eau (autorité concédante)¹⁸ le plus tôt possible dans le projet. Les questions suivantes doivent être clarifiées :

Contact dès que possible avec l'autorité qui délivre les concessions

- Quelles sont les sources d'approvisionnement en eau disponibles dans le canton pour l'irrigation et quelles sont les conditions en vigueur ?
- Sous quelles conditions peut-on soumettre une demande d'utilisation d'eau (autorisation ou concession) ?
- Comment la quantité d'eau disponible pour le projet est-elle déterminée et quelles informations le porteur de projet doit-il fournir ?

L'annexe A4 détaille les avantages et les inconvénients des différentes sources d'approvisionnement en eau et présente une vue d'ensemble des données hydrologiques de base disponibles pour toute la Suisse.

Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau

¹⁸ Ou avec la commune, si c'est elle qui détient les droits d'eau.

5.2 Estimation de la quantité d'eau disponible

Il importe de déterminer les quantités d'eau disponibles pour le projet et d'indiquer les éventuelles restrictions d'approvisionnement en période de sécheresse. Il est judicieux de documenter les accords, hypothèses et calculs sous-jacents.

En règle générale, la demande d'autorisation ou de concession doit contenir le débit de pompage prévu et/ou le **volume maximal prélevé aux pics de la consommation** et, selon le canton, un **volume annuel maximal**. Pour garantir la fiabilité à long terme de l'infrastructure, il est important de connaître la disponibilité de l'eau en cas de sécheresse. Il est donc recommandé de déterminer les quantités d'eau disponibles pour une **année de sécheresse à venir à une échelle de temps mensuelle**¹⁹. Pour les projets simples, dont l'horizon temporel est plus court, ou en l'absence de données pertinentes, il est également possible de se baser sur une année de sécheresse actuelle. Les scénarios qui seront effectivement représentés sont définis en fonction du projet.

En règle générale, les quantités d'eau disponibles pour le projet sont déterminées conjointement avec l'autorité cantonale compétente en matière d'utilisation de l'eau. Les valeurs décisives sont la quantité d'eau pouvant être utilisée à long terme dans l'ensemble de la zone considérée et la part pouvant être consommée par le réseau en projet. La zone considérée doit être déterminée en fonction du projet. Selon le volume des eaux (étendue d'eau ou cours d'eau) et les données disponibles, elle peut englober une partie ou la totalité du bassin versant. À la base de la détermination des quantités d'eau susceptibles d'être utilisées, le porteur de projet fournit des données sur les besoins en eau (cf. chapitre 4) ainsi que sur les surfaces des cultures dans le périmètre et, le cas échéant, dans une zone plus vaste (cf. chapitre 2.2). Il appartient généralement au canton d'évaluer, sur cette base, les quantités disponibles ainsi que la fiabilité de cette évaluation. Des clarifications spécifiques au projet doivent, pour les projets de grande envergure en particulier, être effectuées par le porteur de projet. À titre d'information, les conditions et facteurs importants sont énumérés ci-après. L'autorité qui délivre les concessions décide de la procédure concrète.

Déterminer les quantités d'eau :
choix des paramètres et scénarios

Répartition des tâches projet / canton

Conditions générales encadrant l'estimation de la quantité d'eau disponible à long terme

- La loi sur la protection des eaux définit comme condition préalable à l'autorisation d'un prélèvement d'eau dans un **cours d'eau** que « ... associé à d'autres prélèvements, il réduit de 20 % au plus le débit Q347 (...) et ne dépasse pas 1000 l/s » (art. 30, let. b, LEaux). Pour les prélèvements plus importants, les dispositions relatives aux débits résiduels visés aux art. 31 à 35 doivent être satisfaites. Ces dispositions s'appliquent également aux **formations aquifères**, qui interagissent avec les cours d'eau, ainsi qu'aux prélèvements d'eau dans les **lacs** (appliqués aux entrées ou aux sorties des lacs).
- Autrement, pour les **eaux souterraines**, la quantité d'eau disponible à long terme dépend de leur recharge, qui doit être déterminée par des études hydrogéologiques ou des modélisations. Il est souvent nécessaire de procéder à des forages de prospection combinés à des tests de pompage.
- Pour les **lacs**, il faut également tenir compte du volume utile du plan d'eau, lequel est nettement plus petit que le volume total et qui est déterminé par une cote maximale et une cote minimale du lac (p. ex. en fonction des cotes de crue, de la sécurité des rives, de l'écologie, de la navigation).
- En cas d'utilisation de l'**eau de pluie**, la quantité d'eau se calcule à partir de la surface disponible pour la collecte de l'eau et des volumes de précipitations, moins l'évaporation du réservoir (surface de stockage, taux d'évaporation). Les données correspondantes sont notamment disponibles dans l'Atlas hydrologique de la Suisse.

¹⁹ Sources d'information possibles : mesures, expériences des années de sécheresse précédentes, scénarios hydrologiques selon [Hydro-CH2018 web atlas](#)

- Pour l'utilisation d'eau **potable**, les quantités disponibles doivent être coordonnées avec le service responsable de l'approvisionnement en eau potable.

Facteurs servant à déterminer la part du volume d'eau disponible pour le projet

- Quantités d'eau déjà réservées par le réseau d'eau potable public, l'industrie ou les centrales hydroélectriques dans le bassin versant
- Volumes réservés à l'avenir pour le réseau d'eau potable public
- Droits existants ou besoins potentiels pour d'autres projets d'irrigation dans la zone considérée

Tableau 6 Points de repère servant à déterminer les quantités d'eau disponibles pour le projet

5.3 Bilan des besoins en eau et de la disponibilité de l'eau

Le bilan hydrique permet de comparer les besoins en eau et la disponibilité de la ressource en cas de sécheresse, afin d'identifier d'éventuels déficits. Il révèle ce qui doit être adapté dans l'étude de projet.

L'Illustration 10 représente schématiquement le bilan hydrique pour trois conditions climatiques différentes. Les besoins en eau augmentent et la disponibilité de l'eau diminue avec l'aggravation de la sécheresse (de gauche à droite). Le dimensionnement est plutôt basé sur une année de sécheresse (cf. chapitre 4.3), c'est pourquoi lors d'une année normale, les ressources hydriques dépassent les besoins. Cependant, le bilan peut changer si la taille des surfaces irriguées dépasse les valeurs retenues dans le dimensionnement. En cas de sécheresse extrême, il faut s'attendre dans tous les cas à un déficit, car certaines sources d'approvisionnement en eau peuvent faire défaut tandis que les besoins augmentent. Dans l'exemple esquissé, le projet dispose de deux sources d'approvisionnement différentes, dont les quantités exploitables diminuent ou disparaissent complètement avec l'aggravation de la sécheresse.

Schéma du bilan hydrique

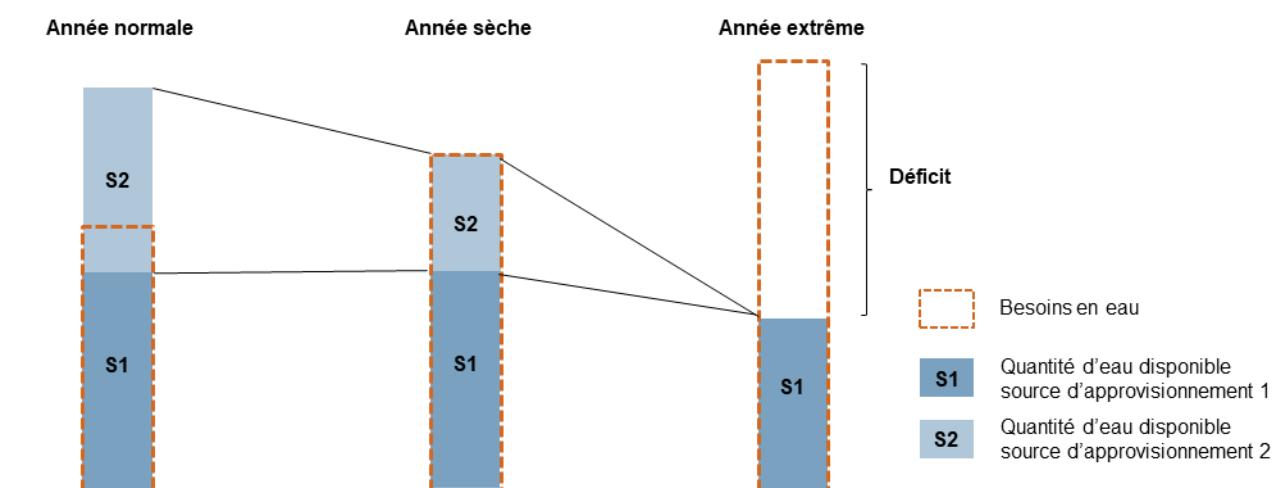


Illustration 10 Comparaison des besoins en eau et de la disponibilité de l'eau

Dans l'optique d'une planification à long terme, il est recommandé d'effectuer le bilan hydrique pour une **année de sécheresse à venir**. Pour les projets de petite taille ou en l'absence de données pertinentes, il est également possible de se baser sur une année de sécheresse actuelle. Si la disponibilité de l'eau de la

Recommandation : bilan hydrique sur une base mensuelle pour une année de sécheresse à venir

source d'approvisionnement est limitée ou varie au cours de l'année, il est recommandé de dresser un bilan prévisionnel à une **échelle mensuelle**. L'unité utilisée est soit le volume d'eau [m^3 par mois] soit le débit de prélèvement [l/s]. Du côté des besoins en eau, il est important de tenir compte de **toutes les cultures vraisemblablement irriguées** (cf. chapitre 2.2).

Lorsque l'on constate des déficits hydriques trop importants, il est nécessaire d'adapter la planification afin d'obtenir un projet réalisable, par exemple :

- Adapter le périmètre
- Ajouter d'autres sources d'approvisionnement en eau ou un réservoir d'eau
- Améliorer l'efficacité de l'irrigation (cf. chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

La fréquence et l'ampleur des déficits hydriques restants sont cruciales pour évaluer correctement si la charge financière est supportable (cf. chapitre 7).

5.4

Gestion des déficits hydriques : mesures préventives

De manière générale, certains risques de pénurie d'eau sont admis. Cette section présente des mesures à prendre préventivement dans l'exploitation du réseau pour faire face aux déficits hydriques restants.

En phase d'exploitation, il est possible d'influer sur la consommation d'eau et par conséquent sur l'ampleur et la fréquence des déficits hydriques. Si l'eau disponible est déjà largement exploitée lors d'années normales, il n'existe pas de marge suffisante pour les années de sécheresse. Il faut dès lors, les années de sécheresse, admettre des dommages aux cultures en raison du manque d'eau, de même que la baisse de production qui en découle. Lors des années extrêmes, il faut systématiquement s'attendre à de telles pertes, car le dimensionnement et la planification ne se font pas sur la base de ces années-là. Ces pertes de production doivent être intégrées dans une gestion opérationnelle des risques.

Gestion opérationnelle des risques au moyen de mesures préventives

Il est recommandé, dans le cadre de la gestion opérationnelle des risques, d'examiner des **mesures préventives visant à réduire les pertes de production**. L'expérience montre qu'elles permettent d'obtenir une réduction nettement plus importante que les mesures prises en cas de sécheresse grave. Il est judicieux de considérer l'évolution annuelle des besoins en eau : s'il existe des pics de consommation, des mesures ciblées doivent être prévues pour les atténuer. Lorsque les besoins sont importants durant des périodes prolongées, la priorité doit être placée sur des mesures à long terme. Les possibilités ci-après sont envisageables (cf. également les mesures visant à augmenter l'efficacité de l'irrigation au chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- Cultures : p. ex. réduire la part des cultures ayant des besoins en eau élevés, diversifier les cultures (qui ont des besoins en eau à des phases différentes), cultiver des variétés résistantes à la sécheresse, prendre des mesures de technique culturelle visant à améliorer la structure et le régime hydrique du sol (cf. annexe A6.1).
- Technique : p. ex. optimiser la technique actuelle (cf. annexe A6.1), employer une technique à faibles pertes, optimiser les processus d'arrosage (réduction des heures de mise en service)

— Assurance : couvrir les risques résiduels par une police d'assurance

Quel que soit le projet d'irrigation, il faut s'attendre à des déficits hydriques au moins lors d'années extrêmes. Il convient dès lors de définir en amont les **règles à appliquer en cas de déficit hydrique aigu**. Celles-ci peuvent intervenir à différents niveaux :

Définition en amont de règles en cas d'événement

— Répartir l'eau entre les unités d'exploitation

— Prioriser les cultures au sein d'une unité d'exploitation

Les aspects suivants peuvent être intégrés à un tel ensemble de règles :

— Rendement supplémentaire de la culture : fixer le principe (p. ex. priorisation des cultures en fonction de la pertinence de l'irrigation, liste des stades les plus sensibles par culture) et l'appliquer en fonction de la situation (p. ex. arrêt de l'irrigation pour les cultures dont le rendement supplémentaire est trop faible ou le risque de perte trop élevé)

— Parts d'eau fixes convenues à l'avance

— Mesures éventuelles ainsi que moyens et voies de communication pour la prise de décision en fonction de la situation

6. Efficience et monitoring

Pour assurer une gestion responsable de la ressource en eau, l'irrigation doit être ciblée, concéder des pertes faibles et être adaptée tant aux besoins des cultures qu'aux propriétés pédologiques. La mise en œuvre de mesures adéquates permet d'améliorer l'efficacité de l'irrigation. Pour évaluer cela, la consommation réelle en eau et en énergie doit être enregistrée et suivie par monitoring.

Le présent chapitre décrit le processus d'étude de la question dans les différentes phases du projet :

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
— Aucune indication	— Choisir des mesures appropriées pour accroître l'efficacité — Identifier les chiffres clés concernant l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie	— Planifier des mesures pour augmenter l'efficacité — Planifier le monitoring de la consommation réelle d'eau — Définir les chiffres clés concernant l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie

6.1 Concept d'efficience

Irriger de manière responsable et économique requiert de choisir, de planifier et de mettre en place des mesures ciblées, spécifiques au projet et appropriées, visant à utiliser l'eau efficacement.

L'étude préliminaire poursuit les objectifs suivants :

- Évaluer les axes stratégiques et définir des mesures adaptées qui soient réalisables à l'échelle du projet et dont l'efficacité est démontrée (cf. Tableau 7). Des mesures appropriées supplémentaires peuvent être proposées en plus de celles déjà énumérées. Les mesures déjà mises en œuvre par les responsables d'exploitation dans le périmètre avant la réalisation du projet peuvent également être mentionnées.
- Justifier en quoi les mesures définies dans le projet sont particulièrement efficaces. Une bonne justification répond aux critères suivants :
 - garantir le bien-fondé technique ;
 - mettre en relation directe le mode d'action de la mesure avec les conditions générales du projet ;
 - utiliser des données actuelles (cf. annexe A6.1).
- Décrire des ébauches de mise en œuvre des mesures.

Axes stratégiques et définition des mesures

L'étude de projet a pour but de planifier et de décrire la mise en œuvre concrète des mesures définies dans l'étude préliminaire. Elle expose de manière crédible et compréhensible la mise en œuvre concrète et contraignante de chaque mesure et définit qui en est responsable. Cette étape englobe par exemple les éléments suivants :

Planification de la mise en œuvre

- Définir la mise en œuvre prévue et le choix définitif des mesures dans le cadre d'un atelier regroupant tous les exploitants du périmètre.

- Consigner par écrit les directives relatives aux techniques de culture et à l'irrigation dans une charte, la faire signer par les exploitants et, selon la forme d'organisation, l'inscrire dans les statuts (cf. chapitre 8.2).
- Consigner l'acquisition de matériel technique dans le dossier de projet et décrire la mise en œuvre prévue. Déterminer qui est responsable de la mise en œuvre au sein de l'organisme porteur.

Le Tableau 7 fournit une vue d'ensemble des axes stratégiques permettant d'utiliser l'eau de la manière la plus efficace possible (techniques culturales, stockage de l'eau, techniques d'irrigation, gestion ciblée de l'irrigation, organisation et fonctionnement, formation et formation continue). L'annexe A6.1 fournit de plus amples informations sur les mesures envisageables. Tous les projets requièrent une vérification, un entretien et un autocontrôle réguliers de l'installation d'irrigation, conduites comprises (étanchéité).

Axe stratégique	Mesures envisageables	Approches concrètes
Technique culturelle	Assurer un bilan humique équilibré	Apport d'engrais organique pauvre en azote, hachage de la paille plutôt qu'élimination, mise en place de cultures intercalaires
	Travailler le sol en le ménageant	Semis sous paillis, utilisation ciblée et ponctuelle de la charrue et des outils rotatifs, passage sur le sol avec un véhicule uniquement lorsqu'il est sec
	Incorporer des additifs rétenteurs d'eau	En culture fruitière : incorporation des préparations dans les jeunes plantations
	Prévenir l'érosion	Bordures, bandes transversales et allées de circulation enherbées, création de micro-buttes (dyker)
	Pailler ou prévoir d'autres mesures de réduction de l'évaporation (film)	Paillis de paille, film de paillage, transfert de broyat d'un champ à l'autre, paillis liquide
	Adapter la période de culture	Culture d'automne plutôt que culture de printemps, semis/plantation précoces ou tardifs
	Adapter la rotation des cultures	Moins de cultures gourmandes en eau, davantage de cultures tolérantes à la sécheresse
	Adapter la densité de plantation	Rangs plus espacés
	Choisir des variétés tolérantes à la sécheresse ou ayant une durée de culture plus courte	Variétés possédant un système racinaire plus important ou une meilleure tolérance à la sécheresse, variétés plus précoces
Stockage de l'eau	En culture fruitière : éclaircir systématiquement et tôt dans la saison	Cf. informations de l'annexe A6.1.
	Ombrer en cas de chaleur	Protection contre la grêle, protection des cultures ou filets d'ombrage spéciaux, installations agri-photovoltaïques
	Collecter les eaux de pluie	Étangs de rétention, dépressions d'infiltration, haies le long des courbes de niveau
Technique d'irrigation	Utiliser une technique générant peu de pertes et à haute efficacité énergétique	Rampe d'arrosage ou irrigation goutte à goutte au lieu de canons ou de sprinklers, arrosage des plants directement lors de la plantation

Axe stratégique	Mesures envisageables	Approches concrètes
	Améliorer la précision de distribution de la technique actuellement utilisée	Pas d'irrigation en cas de fort vent ($> 5 \text{ m/s}$), épaisseur de paroi de tuyau adaptée au terrain lors d'irrigation goutte à goutte, Raindancer
	Réduire les pertes des techniques actuellement utilisées	Pas d'arrosage en cas de fort vent ($> 5 \text{ m/s}$) et de températures élevées ($> 25^\circ\text{C}$), entretien régulier, sprinklers avec Wind Fighter
	Renouveler les techniques vétustes	
Gestion ciblée de l'irrigation	Installer des capteurs	Mesure de l'humidité du sol dans la zone d'enracinement
	Réaliser un bilan hydrique ou élaborer des modèles hydriques	Modélisation de l'humidité du sol (informations sur la météo, le sol et les cultures)
	Assurer une gestion plus ciblée grâce aux informations pédologiques	Adaptation de la quantité apportée, de l'intensité et de l'intervalle d'arrosage en fonction des propriétés pédologiques
	Adapter les volumes d'irrigation au stade de culture	Consultation des fiches d'information et des recommandations
Organisation et fonctionnement	Assurer un dimensionnement puissant qui permette une utilisation flexible	Dimensionnement adapté aux besoins de la technique en question (cf. chapitre 4.3), mécanisation individuelle adaptée à la surface irriguée
	Se concerter pour garantir une flexibilité d'irrigation des parcelles	Aides techniques pour la gestion ciblée de l'irrigation (cf. annexe A6.1), aides techniques pour la vue d'ensemble du périmètre
	Proposer des incitations financières	Incitation à une utilisation efficiente de l'eau par le biais du prix de l'eau
	Documenter l'utilisation de l'eau	Obtention de données sur l'utilisation de l'eau pendant la saison. Évaluation des indicateurs d'efficacité au moins une fois par an (cf. chapitre 6.2 et annexe A6.2)
	Élaborer un plan de priorisation en situation de pénurie (cf. chapitre 5.4)	Priorisation de la pertinence de l'irrigation des cultures dans le périmètre, règles relatives à la pratique d'irrigation en période de pénurie
Formation et formation continue	Participer régulièrement à des formations continues, des séminaires ou des cercles de travail sur le thème de l'irrigation	Communication avec des confrères expérimentés, collaboration à des projets en cours sur la thématique
	Organiser une formation ciblée et prévoir un rappel annuel pour les personnes travaillant dans le domaine de l'irrigation	Élaboration de vues d'ensemble simples proposant les valeurs indicatives les plus importantes et de bonnes illustrations, communication régulière pendant la saison

Tableau 7 Axes stratégiques pour une utilisation optimale de l'eau avec des mesures envisageables et des potentielles approches concrètes.

6.2

Monitoring et indicateurs d'efficacité de l'utilisation de l'eau

Une fois qu'un projet est mis en œuvre, il est important de documenter et d'évaluer l'irrigation autant que sa gestion. Procéder ainsi permet d'avoir une bonne vue d'ensemble de la façon d'irriguer sur l'ensemble du périmètre et d'identifier, si nécessaire, les points à améliorer.

Pendant la phase d'exploitation, la consommation réelle d'eau doit être enregistrée au moyen de compteurs. Procéder de la sorte permet de réaliser une comparaison avec des valeurs de référence et d'optimiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau.²⁰

Monitorage de la consommation réelle

Les porteurs de projet peuvent enregistrer des données d'irrigation supplémentaires, par exemple dans le cadre du concept d'efficience (cf. chapitre 6.1). Les paramètres pertinents sont les suivants :

- Surface irriguée par culture et par an.
- Production obtenue et estimation de la production commercialisable (moyenne, supérieure ou inférieure à la moyenne). En cas de production inférieure à la moyenne, commentaire sur les causes.
- Techniques d'irrigation mises en œuvre et leurs parts de surface par culture.

Les évaluations et valeurs indicatives suivantes peuvent en être déduites :

- Volume moyen d'eau d'irrigation (en mm) dans le périmètre pour toutes les cultures.
- Part des cultures arrosées (cf. chapitre 4.1) dans le périmètre.
- Proportion de techniques générant peu de pertes (irrigation goutte à goutte, rampe d'arrosage) dans le périmètre.
- Évolution annuelle du volume d'eau utilisé à des fins d'irrigation dans le périmètre, du pourcentage de cultures méritant d'être irriguées et de celles ne le méritant pas, de la superficie irriguée ainsi que des techniques d'irrigation mises en œuvre.

L'annexe A6.2 contient des exemples et des aides à l'interprétation pour réaliser des évaluations simples en vue d'optimiser l'irrigation.

Plus les données collectées sont détaillées, plus il est aisé d'analyser et d'améliorer les pratiques d'irrigation actuelles. Les données ci-après permettent de réaliser d'autres évaluations intéressantes :

Valeurs indicatives spécifiques

- Enregistrement de la quantité d'eau utilisée à des fins d'irrigation par culture et par an, en mm ou en m³/ha.
- Enregistrement des heures de fonctionnement de la pompe : nombre d'heures d'exploitation sans fort ensoleillement (p. ex. de 19 h à 11 h) et nombre d'heures d'exploitation avec un ensoleillement potentiellement fort (p. ex. de 12 h à 18 h) ou nombre d'heures d'exploitation lorsque les conditions météorologiques risquent fortement d'induire des pertes (température de l'air > 25 °C, vent > 5 m/s).
- Enregistrement des précipitations ou consultation des données météorologiques.

Ces données permettent de déduire les valeurs indicatives suivantes :

- Quantité (mm) par an et par culture par rapport au niveau de précipitations ou à l'indice de sécheresse de la saison ([indices de sécheresse](#))

²⁰ L'Office fédéral de l'environnement élabore des recommandations pour la collecte et l'utilisation futures des données.

- Pourcentage d'heures d'exploitation entre 12 h et 18 h (période critique en termes de pertes) en regard du total des heures d'exploitation. À titre d'alternative, pourcentage d'heures d'exploitation dans des conditions météorologiques présentant un risque de pertes élevé (température de l'air > 25 °C, vent > 5 m/s).
- Productivité de l'eau (rapport entre la production commercialisable, d'une part, et la somme des précipitations et de l'irrigation pendant la période de végétation, d'autre part).

6.3 Efficacité énergétique

Les nouvelles installations sont construites selon les derniers développements de la technique et devraient donc répondre aux exigences actuelles en matière d'efficacité énergétique. Le dossier de projet doit énumérer les principaux chiffres clés en matière d'efficacité énergétique.

L'**étude préliminaire** devrait faire état des aspects suivants :

Aspects pertinents

- Consommation d'énergie attendue pour une année normale (cf. chapitre 4.1) en kWh/m³, en distinguant la fourniture et l'amenée d'eau. Dans les grands projets, indiquer la consommation d'énergie par secteur en fonction de la distance et de la différence d'altitude comme base pour le choix du périmètre définitif.
- Efficacité de la pompe choisie pour la fourniture d'eau : indiquer le rendement et justifier le choix de la puissance de la pompe. Indiquer s'il existe un réglage automatique de la vitesse.
- Efficacité du système de canalisation pour l'amenée d'eau : justifier le choix du diamètre des tuyaux.
- Sources d'énergie prévues, en précisant notamment si des énergies renouvelables seront utilisées ou si la question de leur utilisation a été clarifiée.

Si nécessaire, les aspects susmentionnés sont adaptés et repris dans l'**étude de projet**.

7. Coûts et rentabilité

Estimer les coûts est une étape essentielle vers une décision de financement d'un projet (investissements), pour l'évaluation de la rentabilité (viabilité économique) de même que pour la fixation des tarifs de l'eau. Le présent chapitre décrit le processus dans les différentes phases du projet :

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
<ul style="list-style-type: none"> — Estimer grossièrement les coûts et la rentabilité sur la base de valeurs empiriques 	<ul style="list-style-type: none"> — Estimer les coûts d'investissement et les coûts annuels — Calculer la plus-value économique par culture et évaluer la rentabilité (viabilité économique) pour l'ensemble du projet 	<ul style="list-style-type: none"> — Établir une estimation des coûts d'investissement ainsi qu'une estimation détaillée des coûts annuels — Présenter le financement — Définir la répartition des coûts et les tarifs de l'eau — Évaluer précisément la rentabilité de l'ensemble du projet — Effectuer une analyse de sensibilité de la rentabilité

7.1 Estimation des coûts d'investissement

L'estimation des coûts d'investissement est un élément central de tout projet. Elle devient de plus en plus détaillée au fur et à mesure que le projet avance. À la fin de l'étude de projet, l'estimation des coûts est disponible avec la précision nécessaire à la décision de mise en œuvre (connaissance des répercussions économiques).

L'estimation des coûts (EC) d'un projet d'irrigation comprend tous les coûts d'investissement, soit les coûts de planification, d'octroi du mandat et de mise en œuvre du projet. Son degré de détail dépend en grande partie de l'état d'avancement du projet ainsi que de la taille de celui-ci. La structure de l'EC devrait correspondre aux normes actuellement en vigueur dans les projets de génie civil, en matière d'appel d'offres et de contrôle des coûts de construction²¹. Néanmoins, la structure peut être adaptée si nécessaire, par exemple pour servir de base à une clé de répartition des coûts permettant de distinguer soit les infrastructures communes des infrastructures propres à l'exploitation, soit les infrastructures pour la prise d'eau, pour le transport de l'eau ou pour la distribution de l'eau.

Estimation des coûts par phase

Phase du projet	But de l'estimation des coûts	Précision de l'estimation	Condition préalable à l'estimation	Bases servant à l'estimation
Initialisation	Estimation initiale des coûts d'investissement	Plus de ±30 %	<ul style="list-style-type: none"> — Estimations approximatives pour la fourniture, l'amenée et la distribution de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> — Valeurs empiriques (cf. annexe A7.1)
Étude préliminaire (SIA phase 2)	Faisabilité	Selon la norme SIA 406 (recommandation : ±30 %)	<ul style="list-style-type: none"> — Plans de situation — Dimensionnement approximatif des installations : p. ex. hauteur de pompage, volume de stockage, nombre de trous 	<ul style="list-style-type: none"> — Publications, projets similaires, évaluation d'experts (p. ex. bureau d'ingénieurs) — Contrôle de plausibilité des postes de coûts

21 En particulier pour les grands projets selon le Code des coûts de construction Génie civil : www.crb.ch

Phase du projet	But de l'estimation des coûts	Précision de l'estimation	Condition préalable à l'estimation	Bases servant à l'estimation
			<ul style="list-style-type: none"> — de forage, longueur des conduites, etc. — Le cas échéant, variantes pour l'étude correspondante 	<ul style="list-style-type: none"> concernés avec les fournisseurs / entrepreneurs
Étude de projet (SIA phase 3)	Estimation des coûts	<p>Selon la norme SIA 406 (recommandation : min. $\pm 20\%$)</p> <p>Recommandé jusqu'à $\pm 10\%$ au niveau du projet de construction pour les grands projets</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Plans, schémas — Dimensionnement : longueur et diamètre de la conduite, éventuellement calcul hydraulique du réseau, profondeur de pose, type de pompe, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> — Demande d'offres indicatives pour les postes de coûts importants

Tableau 8 Buts, précision, conditions et bases servant à l'estimation des coûts d'investissement, par phase

L'EC est adaptée et détaillée à plusieurs reprises en cours d'avancement du projet, car les facteurs de coûts (périmètre, dimensionnement, etc.) peuvent évoluer et la précision des coûts augmente au fur et à mesure de l'avancement de la planification.

Le financement des coûts d'investissement doit être assuré au plus tard avant le début de la mise en œuvre du projet d'irrigation (cf. Illustration 1). Différentes sources de financement sont disponibles :

- Fonds propres : une partie des coûts d'investissement et notamment les coûts de planification doivent souvent être supportés par des fonds propres.
- Fonds privés : contributions de fondations privées, prêts ou crédits.
- Fonds publics : subventions ou crédits de la Confédération et du canton.

À titre d'aide au niveau de l'**initialisation**, l'annexe A7.1 fournit des évaluations chiffrées des coûts d'investissement. Pour les phases suivantes, les coûts doivent être estimés en fonction du projet, si nécessaire en faisant appel à un bureau d'ingénieurs.

7.2

Estimation des coûts annuels

Les coûts annuels totaux (coûts du capital et coûts de fonctionnement) pour le fonctionnement et l'entretien de l'infrastructure d'irrigation forment la base de l'évaluation de la rentabilité (viabilité économique) comme de la définition du modèle de taxes ou de prix.

Les coûts annuels peuvent être répartis dans les postes ci-après et ventilés de façon plus précise à mesure que le projet avance :

Adaptation de l'estimation des coûts à l'avancement du projet

Financement des coûts d'investissement

Calcul des coûts de fonctionnement et d'entretien

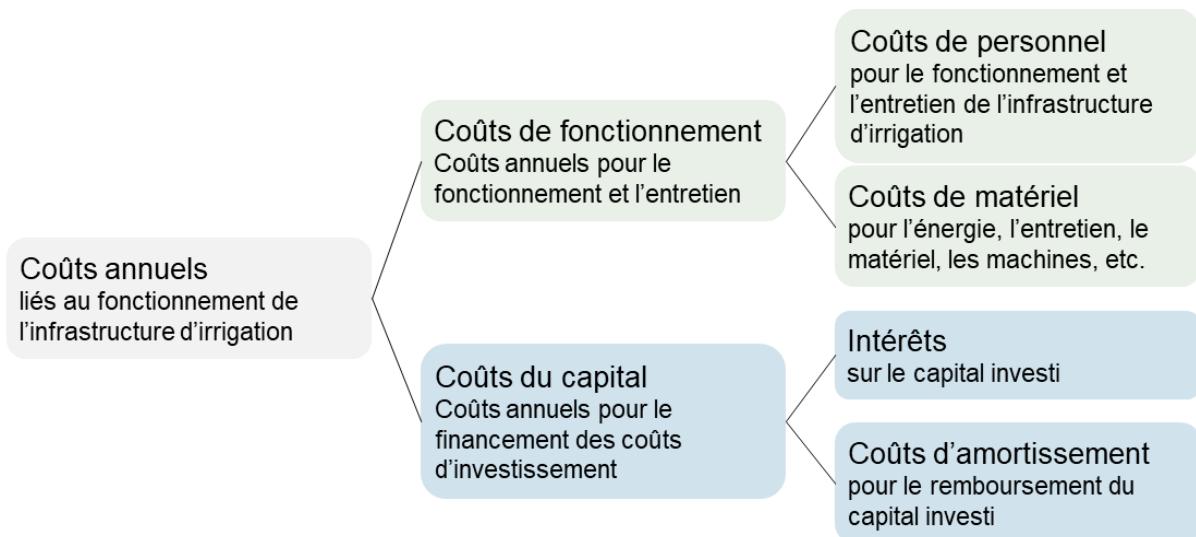


Illustration 11 : Coûts annuels, coûts de fonctionnement et coûts du capital

La structure générale des coûts présentée dans l'Illustration 11 peut, si nécessaire, être affinée comme suit :

- Distinction entre les charges propres à l'exploitation (p. ex. pour la mise en place et le retrait des dispositifs d'irrigation des champs) et les charges communes (p. ex. pour les prises d'eau, les bassins de stockage, les conduites principales).
- Ventilation en coûts fixes et coûts variables, afin de pouvoir déterminer, dans le règlement tarifaire (cf. chapitre 7.3), le rapport entre les taxes de base et les taxes en fonction du volume.

L'annexe A7.2 propose des aides pour le calcul des coûts annuels.

7.3

Répartition des coûts et tarifs de l'eau

Le modèle de taxes ou de prix doit garantir une couverture des coûts annuels totaux par les utilisateurs selon le principe de causalité.

La répartition des coûts selon le principe de causalité pour les infrastructures d'irrigation utilisées en commun nécessite de distinguer entre les coûts fixes et les coûts variables :

- Les coûts fixes sont générés indépendamment de l'utilisation ou non de l'infrastructure d'irrigation. Il s'agit entre autres des coûts du capital (coûts d'amortissement et intérêts), des charges d'assurance et d'une partie des coûts de personnel. Les coûts fixes peuvent être facturés aux exploitations au prorata (p. ex. sur la base de la superficie équipée) via un tarif de base (contribution annuelle de base). Ils peuvent aussi être facturés par l'intermédiaire du prix au mètre cube.
- Les coûts variables dépendent des quantités d'eau utilisées et comprennent entre autres les coûts de l'énergie, une partie des coûts de personnel, les coûts d'entretien et de réparation variables ainsi que les éventuels droits dont il faut s'acquitter pour prélever de l'eau. Dans l'idéal, les coûts variables sont facturés

Structure de coûts appropriée pour le calcul des taxes

Répartition des coûts selon le principe de causalité

Coûts fixes et tarif de base

Coûts variables et tarif au volume

en fonction des quantités d'eau consommées, par l'intermédiaire du tarif au volume (prix au mètre cube).

Pour les investissements importants, le financement doit être convenu à l'avance, par exemple sur la base de la répartition des coûts fixes.

L'organisation chargée de la gestion est libre de réaliser le partage des coûts et de définir les tarifs comme elle l'entend. Elle peut donc définir d'autres systèmes tarifaires ou des systèmes complémentaires, ainsi que vendre des contingents pour des volumes ou des périodes données. Il convient à cet effet de veiller à ce que toutes les exploitations puissent bénéficier d'un accès équitable à des quantités d'eau minimales.

Conventions particulières

7.4 Rentabilité de l'irrigation

Le calcul de rentabilité fournit une base décisionnelle importante permettant d'évaluer si le projet d'irrigation est financièrement viable. La rentabilité d'une culture individuelle peut en outre être prise en considération pour évaluer la pertinence d'une irrigation.

Comparaison coûts/utilité

L'évaluation de la rentabilité consiste à comparer l'utilité d'un projet d'irrigation avec les coûts annuels afférents (cf. chapitre 7.2). Pour rentabiliser l'irrigation et couvrir les coûts annuels, l'utilité doit être clairement supérieure à la moyenne des coûts générés sur plusieurs années.

La rentabilité devrait être démontrée pour l'année normale actuelle (cf. chapitre 1.4). On s'assure ainsi que le projet d'irrigation ne sera pas exploité de manière non rentable les premières années. Si la rentabilité est assurée pour l'année normale actuelle, on peut penser que le projet d'irrigation peut également être exploité de manière rentable dans les autres cas (année de sécheresse actuelle, année normale ou de sécheresse à venir selon le chapitre 1.4).

Hypothèses simplifiées : considérer une année normale

Le calcul de rentabilité ne doit pas se baser sur la même utilisation des surfaces et la même combinaison de cultures que celles considérées dans le dimensionnement selon le chapitre 4 : en raison de l'assolement ou des cultures dérobées, l'infrastructure d'irrigation couvre dans la plupart des cas une surface plus grande que celle qui peut être irriguée lors de pics de consommation d'une année de sécheresse à venir (cf. chapitre 2.2). Étant donné que l'infrastructure d'irrigation devrait également être rentable en année normale, il peut donc s'avérer judicieux de considérer les surfaces ou les cultures irriguées supplémentaires dans le calcul de rentabilité, pour autant que les quantités d'eau nécessaires soient disponibles (cf. bilan hydrique, chapitre 5.3).

Hypothèses simplifiées : combinaison actuelle de cultures et utilisation actuelle des sols

Les paragraphes suivants proposent une méthodologie de calcul de la rentabilité.

7.4.1 Calcul de la valeur économique de l'irrigation, par culture

La première étape consiste à formuler des hypothèses concernant les cultures pratiquées et leurs surfaces dans l'ensemble du périmètre, pour lesquelles la valeur économique de l'irrigation doit être calculée (cf. chapitre 2.2). Outre les cultures principales, il convient de tenir compte de l'assolement prévu et des éventuelles cultures dérobées. Les recettes escomptées aujourd'hui par hectare et par an doivent être estimées pour toutes les surfaces (cf. Tableau 9, colonne 3). Les sources d'information suivantes sont disponibles :

Étape 1 : définir les recettes pour les cultures principales et les cultures secondaires

- Valeurs empiriques des dernières années sans l'irrigation envisagée ;
- Recettes escomptées pour une production moyenne dans le cadre de la planification financière ;
- Données de superficie selon les systèmes d'information géographique cantonaux ;
- Catalogue de marges brutes publié par [Agridea](#) ;
- Indications ProfiCost Gemüse de la Centrale suisse de la culture maraîchère et des cultures spéciales ([CCM](#)) ;
- Valeur de production de la culture selon l'[assurance contre la grêle](#).

Dans une deuxième étape, il s'agit d'estimer et de justifier la valeur économique de l'irrigation. Celle-ci découle principalement des pertes évitées (p. ex. qualité, quantité, disponibilité, prix). Le calcul se base sur des données existantes ou des hypothèses, afin de pouvoir estimer quantitativement, en pourcentage par rapport aux recettes escomptées, les pertes moyennes auxquelles il faut s'attendre sans irrigation. Vu la forte variabilité de la pluviométrie d'une année à l'autre, la perte attendue devrait être estimée sous la forme d'une moyenne sur plusieurs années.

À partir des recettes escomptées et des pertes estimées en l'absence d'irrigation, il est ensuite possible d'estimer les recettes assurées par l'irrigation. Les résultats de ces trois étapes de travail peuvent être représentés sous forme de récapitulation, comme le montre à titre d'exemple le tableau suivant :

Étape 2 : estimer les pertes sans irrigation

Étape 3 : estimer les recettes assurées par l'irrigation

Cultures principales et cultures dérobées	Surface cultivée dans le périmètre (ha/a)	Recettes de la vente (CHF/ha/a)	Perte* attendue sans irrigation (%)	Recettes assurées* avec irrigation (CHF/ha/a)
A	2	5'000	50 %	2'500
B	5	3'000	30 %	900
C	1	6'000	80 %	4'800
D	3	5'000	30 %	1'500

Tableau 9 Exemple de tableau complété avec la perte attendue sans irrigation en % et les recettes assurées, *en année normale selon Illustration 5

D'autres aides pour le calcul de la valeur économique de l'irrigation sont expliquées dans l'annexe A7.3. Toutefois, l'estimation et la justification des pertes attendues en particulier sont problématiques en raison des grandes incertitudes liées aux précipitations et du manque de données (cf. chapitre 9).

7.4.2 Calcul de rentabilité

La moyenne des recettes assurées par l'irrigation est calculée pour les cultures considérées et les éventuelles cultures dérobées, en tenant compte de l'assolement (cf. Tableau 10).

Recettes moyennes par surface

Cultures principales et cultures secondaires	Surface cultivée dans le périmètre (ha/a)	Recettes assurées* par culture et par surface (CHF/ha/a)	Recettes assurées* Total par culture (CHF/a)
A	2	2 500	5 000
B	5	900	4 500
C	1	4 800	4 800

D	3	1 500	4 500
Total	11 ha		18 800 CHF/a
Recettes moyennes par surface*			1 709 CHF/ha/a

Tableau 10 Exemple de tableau servant à l'estimation des recettes assurées par l'irrigation pour une année moyenne ; *en année normale, selon Illustration 5.

Les recettes assurées par hectare sont ensuite mises en regard des coûts annuels (cf. chapitre 7.2), afin de calculer la rentabilité, comme le montre l'exemple du tableau suivant :

	Calcul sans subvention	Calcul avec subventions
Recettes assurées (CHF/ha/an)	1 709	1 709
Coûts annuels (CHF/ha/a)	2 000	1 500
Rentabilité (CHF/ha/a)	-291	209

Tableau 11 Exemple de tableau servant au calcul de la rentabilité de l'irrigation sans subvention et avec subventions

Le calcul de rentabilité devrait être effectué avec et sans les subventions. Les deux options servent à des fins différentes :

- En l'absence de subvention, il faut s'appuyer sur le calcul de rentabilité pour déterminer la pertinence de l'irrigation des cultures.
- Les montants de subventions permettent quant à eux de vérifier si le projet d'irrigation est financièrement viable. Le projet n'est mis en œuvre que s'il peut être exploité de manière rentable.

Toutes les hypothèses doivent être justifiées. Une bonne justification comprend notamment une description des sources d'information utilisées et des hypothèses retenues.

7.5

Analyse de sensibilité : gestion des incertitudes

L'analyse de sensibilité montre la robustesse des affirmations en matière de rentabilité lorsque certains paramètres évoluent différemment des prévisions.

L'analyse de sensibilité permet de tenir compte des incertitudes concernant les fluctuations à venir ou saisonnières qui ne sont pas reflétées dans les calculs de la valeur ajoutée et des coûts. Pour cela, la rentabilité est recalculée après avoir modifié un seul paramètre (p. ex. coûts d'investissement 30 % plus élevés, avec ou sans subventions, coûts d'électricité ou de carburant 50 % plus élevés, etc.). Cette procédure permet de reconnaître la sensibilité de la rentabilité face aux différents facteurs d'incertitude. Les facteurs les plus importants devraient être discutés et des mesures prises lors de la poursuite de l'étude de projet, afin de réduire les incertitudes.

Calcul de rentabilité

Rentabilité avec subventions et sans subvention

Justification des hypothèses

Dans quelle mesure les déclarations sont-elles robustes ?

8. Organisation

La construction, l'exploitation et l'entretien à long terme d'une infrastructure d'irrigation doivent s'appuyer sur une forme d'organisation judicieusement choisie. Le présent document se concentre sur celles qui garantissent l'exploitation et la maintenance de ces infrastructures à long terme. Sous ce chapitre sont décrites les opérations relatives aux phases suivantes du projet.

Initialisation	Étude préliminaire	Étude de projet
<ul style="list-style-type: none"> — Chercher un partenaire pour le projet 	<ul style="list-style-type: none"> — Dresser un plan de situation indiquant provisoirement le périmètre du projet — Décrire les droits de propriété — Clarifier la question des porteurs du projet — Déterminer la forme d'organisation adaptée à l'exploitation de l'infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> — Établir le plan de situation indiquant le périmètre définitif — Décrire les droits de propriété — Fonder la collectivité des porteurs du projet — Décrire la forme d'organisation prévue et rédiger les documents qui s'y rapportent (statuts, règlements, etc.)

8.1 Choix de la forme d'organisation

La forme d'organisation doit être en rapport avec l'ampleur et la complexité du projet ; elle doit aussi être compatible avec les structures existantes et conforme à la législation cantonale.

L'infrastructure d'irrigation ne saurait être planifiée, construite, gérée qu'en tenant compte des structures de propriété et d'exploitation existantes. Cette adaptation permettra de créer des synergies, de répartir le risque financier et de garantir l'exploitation à long terme de l'infrastructure. L'organisation responsable de l'exploitation ne doit pas forcément correspondre à celle des porteurs du projet. Cette organisation chargée de réaliser et de financer le projet doit être fondée au plus tard au moment où le projet de construction est soumis aux autorités. Quant aux futurs exploitants de l'infrastructure, ils doivent être associés au projet dès sa planification (cf. chapitre 1.2).

Les fonds couvrant les coûts de la planification doivent souvent être avancés par les partenaires associés au projet. Lorsque ces fonds sont importants, il est judicieux de passer une convention écrite, voire de fonder assez tôt la collectivité des porteurs du projet. On n'oubliera pas d'y régler les éventuels rééquilibrages financiers, une fois le dimensionnement des infrastructures et le périmètre définitif connus. Toutefois, lorsque la collectivité est créée de façon anticipée, les documents disponibles pour la décision (relatifs aux coûts et à la rentabilité de l'installation, notamment) sont relativement peu détaillés, et le périmètre du projet ainsi que le nombre des participants peuvent encore évoluer. Il importera donc de garder une souplesse suffisante en ce qui concerne l'arrivée ou le départ de participants ainsi que les ajustements financiers qui s'y rapportent.

Voici un tableau synoptique des différentes formes d'organisation.

Régler judicieusement la planification, la construction, le régime de propriété et l'exploitation.

Régler assez tôt la question des coûts de planification.

Formes d'organisation	Brève description	Caractéristiques
Exploitation individuelle	Exploitation individuelle finançant et exploitant l'infrastructure d'irrigation	Il n'est pas nécessaire de créer une organisation distincte pour l'infrastructure. Non recommandée pour des infrastructures exploitées en commun. Pour l'irrigation dans les régions suivantes : FR
Société simple	Organisation formée par deux (ou plus) personnes physiques en vue de réaliser ou d'exploiter une infrastructure d'irrigation (art. 530 ss CO)	Les personnes morales sont exclues de cette forme d'organisation. Les modalités de création sont simples et rapides (pas de forme prescrite). Les membres de la société sont personnellement, indéfiniment et solidairement responsables. Il faut parfois acquérir auprès des propriétaires fonciers des droits de faire passer une conduite (servitudes). Pour l'irrigation dans les régions suivantes : VS (en tant que consortium = union de plusieurs exploitants), TG, FR
Société en nom collectif	Organisation formée de plusieurs personnes physiques (2 ou plus) en vue de projeter et de construire une infrastructure d'irrigation (art. 552 ss CO)	Les personnes morales sont exclues de cette forme d'organisation. Les membres de la société sont tenus de la faire inscrire au registre du commerce. Les membres de la société sont personnellement, indéfiniment et solidairement responsables. Il faut parfois acquérir des droits de faire passer une conduite auprès des propriétaires fonciers (servitudes). Pour l'irrigation dans les régions suivantes : encore aucune expérience.
Commune	Commune propriétaire et exploitante d'une infrastructure collective destinée aux aménées d'eau et à l'irrigation	La décision de la commune est indispensable. Il n'est pas nécessaire de créer une nouvelle forme d'organisation. Pour l'irrigation dans les régions suivantes : VS.
Société coopérative	Société coopérative visée aux art. 828 à 926 CO (formée d'au moins 7 personnes physiques ou morales) chargée de créer ou d'exploiter une infrastructure d'irrigation	La création est relativement complexe et exige que la société coopérative soit inscrite au registre du commerce. En l'absence d'autre disposition spécifique, la responsabilité n'est ni personnelle ni solidaire, puisqu'il s'agit d'une personne morale. Il faut parfois acquérir des droits de faire passer une conduite auprès des propriétaires fonciers (servitudes). La constitution d'un capital n'est pas indispensable, mais possible ; dans ce cas, chaque membre de la société doit détenir des parts. La distribution de bénéfices n'est possible que si les statuts (assemblée générale, administrateurs, organe de contrôle) le prévoient expressément. Pour l'irrigation dans les régions suivantes : BE, FR, TG.
Syndicat d'améliorations foncières	Syndicat existant de propriétaires fonciers, se chargeant de réaliser les travaux d'amélioration foncière selon l'art. 703 CC et les législations cantonales	Forme d'organisation valable uniquement pour l'irrigation lorsque la majorité des propriétaires fonciers souhaite réaliser une infrastructure d'irrigation (les exploitants n'ont aucun droit de vote). Ne peut être envisagé pour l'exploitation de l'infrastructure que dans le cas où les propriétaires fonciers veulent l'exploiter. En l'absence d'autre disposition spécifique, la responsabilité n'est ni personnelle ni solidaire, puisqu'il s'agit d'une personne morale. Par nature, le syndicat d'améliorations foncières se rapporte à des biens-fonds ; les droits de faire passer une conduite sont accordés automatiquement. Le périmètre est défini par une décision prise à la majorité et ne comporte aucune lacune. Pour l'irrigation dans les régions suivantes : VS.
Société anonyme (SA)	Société anonyme visée aux art. 620 à 763 CO (formée d'au moins une personne	La fondation, telle qu'elle est prévue aux art. 620 ss. CO, est relativement complexe et exige que la SA soit inscrite au registre du commerce.

Formes d'organisation	Brève description	Caractéristiques
	physique ou morale) chargée de réaliser ou d'assurer l'exploitation d'une infrastructure d'irrigation	<p>La responsabilité n'est ni personnelle ni solidaire, puisqu'il s'agit d'une personne morale.</p> <p>Il faut parfois acquérir des droits de faire passer une conduite auprès des propriétaires fonciers (servitudes).</p> <p>Le capital social ne doit être inférieur à 100 000 francs (dont la moitié au moins doit être versée au capital).</p> <p>Les règles comptables sont strictes et la gestion de la société occasionne un travail important (procès-verbaux, assemblées générales, rapports de gestion, etc.)</p> <p>Les droits des actionnaires sont clairement définis ; par conséquent, cette forme d'organisation est moins souple en ce qui concerne les règles applicables à l'admission ou à l'exclusion des membres de la société.</p> <p>Pour l'irrigation dans les régions suivantes : aucune expérience pour le moment (autorisée depuis peu dans le canton de ZH).</p>
Société à responsabilité limitée (Sàrl)	Sàrl visée aux art. 772 à 827 CO (formée d'au moins une personne physique ou morale) chargée de réaliser ou d'assurer l'exploitation d'une infrastructure d'irrigation	<p>La fondation, telle qu'elle est prévue aux art. 772 ss. CO, est relativement complexe et exige que la Sàrl soit inscrite au registre du commerce.</p> <p>La responsabilité n'est ni personnelle ni solidaire, puisqu'il s'agit d'une personne morale.</p> <p>Il faut parfois acquérir des droits de faire passer une conduite auprès des propriétaires fonciers (servitudes).</p> <p>Le capital social, fixé au minimum à 20 000 francs, est relativement bas.</p> <p>La gestion de la société occasionne un travail relativement important.</p> <p>Pour l'irrigation dans les régions suivantes : TG (autorisée depuis peu dans le canton de ZH).</p>

Tableau 12 Liste des formes d'organisation que peuvent prendre les projets d'irrigation ; l'information concernant les régions où elles sont autorisées a un caractère indicatif et ne repose sur aucune enquête exhaustive auprès des cantons.

Il ressort du Tableau 12 que la société coopérative est la forme d'organisation la plus souple pour les projets d'irrigation associant sept personnes, physiques ou morales, ou plus. Les règles auxquelles elle obéit sont fixées dans le Code fédéral des obligations ; par conséquent, elle convient aux projets dont le périmètre se situe dans plusieurs cantons. Quant aux projets de moindre importance, ils peuvent s'appuyer sur une société simple ou une société en nom collectif, mais ces formes d'organisation ne peuvent associer que des personnes physiques. En ce qui concerne la société anonyme (SA) et la société à responsabilité limitée (Sàrl), le manque d'expérience ne permet pas de dire si la mise en place ou l'exploitation d'un réseau d'irrigation justifient le grand travail nécessaire à l'administration de ces deux types de sociétés.

Le Secrétariat d'État à l'économie (SECO) a publié sur son site Internet, à l'intention des PME, une liste comparative des formes juridiques de sociétés. Cette page comprend de précieuses informations touchant divers aspects des formes que revêtent le plus fréquemment [les PME](#), à savoir notamment la responsabilité, les modalités de fondation, les obligations relatives à la comptabilité et à la présentation des comptes, ainsi que la fiscalité.

Sur demande et contre paiement, Agridea propose sur son site, sous la rubrique des [formes de collaboration](#), d'autres documents juridiques, des documents servant d'aide à la décision ainsi que des modèles de contrats pour les différentes

formes de sociétés (sociétés simple, société en nom collectif, société anonyme et Sàrl).

8.2 Actes de fondation et règlements

Les statuts et les règlements fixent à long terme l'organisation et la capacité financière de la société. Ils doivent être conçus très tôt, afin que les données essentielles de l'exploitation de la société puissent être définies judicieusement (concept d'efficience, estimation des coûts d'exploitation annuels, tarifs de l'eau, clé de répartition) lors de la planification ; les statuts et les règlements doivent être mis à la disposition des décideurs au sein de la société.

Il importe que les fondateurs d'une société destinée à exploiter un réseau d'irrigation suivent les principes suivants :

- Faire examiner les actes de fondation **avant leur signature**, sous l'angle de leur conformité au droit et à la réalité pratique.
- Stipuler, dans les **statuts**, les objectifs supérieurs de l'entreprise (par exemple la sécurité de la distribution de l'eau, son efficience et la protection des sols). Les règles concernant spécifiquement l'exploitation de l'infrastructure, son entretien et son financement devront être définies dans les **règlements**, afin que les tâches, les compétences et les responsabilités soient réglées clairement en vue du maintien à long terme de l'infrastructure, et que les coûts d'exploitation annuels soient couverts (cf. chapitre 7.2). Les règlements sont plus détaillés, mais ils sont plus faciles à modifier que les statuts.
- Garantir la pérennité de l'organisation, en tout cas durant l'utilisation de l'infrastructure. Pour atteindre cet objectif, les règlements doivent impérativement être établis par écrit. Ils fixeront en particulier les **règles d'admission, de démission ou d'exclusion des membres de la société**, ainsi que les conséquences financières de ces actions, de telle sorte que la société garde sa capacité d'agir.
- Régler l'affectation et la répartition des éventuels bénéfices, qui sont déterminantes pour le résultat des **demandes de subventions**. De plus, l'octroi de **crédits** exige des garanties qui doivent être clairement réglées, notamment dans les organisations dont la responsabilité est limitée (par exemple les sociétés coopératives, les SA et les Sàrl). Les règles concernant ces garanties doivent être clarifiées très tôt avec le service responsable des améliorations structurelles.

Voici un tableau synoptique des éléments spécifiques à l'irrigation, qu'il faut régler dans les actes de fondation et les règlements de la société.

Statuts, actes de fondation, etc.	Règlements d'exploitation et d'entretien	Règlement tarifaire
— Aspects financiers des admissions et des démissions	— Mesures de protection des sols et mesures visant à améliorer l'efficience de l'irrigation	— Coûts suffisamment couverts
— Possibilité d'exclure des membres	— Règles concernant la formation continue (protection des sols, efficience de l'irrigation, exploitation de l'infrastructure)	— Tarifs équitables calculés en fonction de l'utilisation
— Responsabilité des membres		— Modèle tarifaire transparent (par exemple taxe de base, puis tarif en fonction du volume)
— Cession d'eau à des tiers		

-
- Technique d'irrigation, par exemple emploi de compteurs d'eau
 - Droits d'accès à l'eau sur la base d'une clé de répartition
 - Rationnement lorsque les besoins excèdent la capacité des ressources disponibles ou le débit ; le rationnement peut se faire par priorisation des cultures.
-

Tableau 13 Règles à mentionner dans les actes de fondation et les règlements de syndicats d'irrigation

Les services responsables des améliorations structurelles, de même que les organisations spécialisées dans la vulgarisation agricole (Agridea, Inorama, etc.) peuvent fournir sur demande des modèles de documents ainsi que des exemples de contrats, de statuts et de règlements d'exploitation, d'entretien ou de tarifs.

9. Perspectives

Le présent guide étant destiné à faciliter la réalisation des projets d'irrigation durables, nous avons tenté de garder l'équilibre entre un caractère directif et un caractère impératif, et entre la standardisation et la liberté de décision. Ce guide est par ailleurs le premier dans son genre ; il doit encore faire ses preuves et pourra si nécessaire être revu dans quelques années.

Réalisant la synthèse des connaissances actuelles dans son domaine, il a été conçu compte tenu des avis exprimés par diverses personnes et organisations concernées, dans un souci de compromis. Il subsiste toutefois des divergences, et certaines connaissances font défaut. Les principaux points en sont énumérés ci-dessous.

- Il n'existe pas de données pédologiques couvrant tout le territoire suisse.
- Les données de référence concernant les besoins en eau (cf. annexe A7) sont inexistantes, de même que les résultats des essais pour déterminer les effets du stress hydrique sur les besoins supplémentaires en eau des cultures et sur leur rendement.
- Il n'existe ni une planification harmonisée des coûts ni de documentation permettant, par exemple sur la base d'expériences tirées de projets réalisés, de déterminer les coûts d'exploitation d'un réseau d'irrigation.
- Il faudrait disposer de meilleures données et d'une méthode permettant d'estimer les ressources en eau durablement disponibles (telles que les prévoit par exemple la planification cantonale) ainsi que de prescriptions sur lesquelles se fonder pour piloter en temps réel le pompage dans les eaux de surface, de manière à ce qu'il y reste un volume d'eau suffisant.
- Il manque une vue d'ensemble des objectifs et du contenu des stratégies cantonales en termes d'irrigation et une cohérence de ces stratégies avec le présent guide.
- On pourrait s'accorder sur des règles simplifiées applicables aux projets d'envergure modeste, combinées éventuellement à des exemples de bonnes pratiques ou à des modèles de documents standardisés.

Il reste à étudier comment ces questions seront résolues. Il serait judicieux d'instaurer un dialogue intercantonal régulier entre les décideurs et les porteurs du projet pour répondre aux questions en suspens et réduire les divergences de façon constructive. Ce dialogue pourrait avoir lieu par exemple au sein d'une commission du Forum pour la gestion durable de l'eau dans l'agriculture.

A1 Check-list des contenus du projet par phase

Les exigences minimales doivent être convenues avec l'autorité qui subventionne les améliorations structurelles au début du projet ou alors avant le début d'une nouvelle phase. Il faut se mettre d'accord sur le traitement des thèmes : lesquels doivent être traités « dans les grandes lignes », lesquels « de manière approfondie » et lesquels pas du tout.

La vue d'ensemble des exigences, établie d'un commun accord, peut aussi servir de check-list pour vérifier si le dossier est complet.

A1.1 Initialisation

Objectif : obtenir une vue d'ensemble des exigences et examiner l'idée du projet

Thèmes	Étapes de travail	Pertinence / degré de traitement
Situation de départ	— Lancement du projet et détermination des objectifs	
Contenus du projet en général	— Ébaucher et décrire l'idée du projet — Définir approximativement un périmètre	
Organisation du projet	— Chercher des partenaires pour le projet	
Analyse de situation	— Procéder à une première sélection des cultures à considérer dans le dimensionnement	
Besoin en eau	— Estimer approximativement le besoin en eau	
Disponibilité de l'eau	— Examiner quelles sont les sources possibles d'approvisionnement en eau — Clarifier avec les services cantonaux spécialisés ou avec les communes les conditions auxquelles le <u>prélèvement d'eau</u> est soumis	
Aspects financiers	— Évaluer approximativement les coûts et la rentabilité au moyen de valeurs empiriques	

A1.2 Étude préliminaire

Objectif : clarifier la question de la faisabilité, décider des grandes orientations

Thèmes	Étapes de travail	Pertinence / degré de traitement
Situation de départ	— Lancement du projet et détermination des objectifs	
Contenus du projet en général	— Selon la norme SIA 406 (rapport technique et plan d'ensemble avec périmètre provisoire et variantes, etc.)	
Organisation du projet	<ul style="list-style-type: none"> — Décrire les régimes de propriété foncière — Créer l'organisme porteur du projet — Clarifier le problème de la forme d'organisation pour l'exploitation de l'installation 	
Analyse de situation	<ul style="list-style-type: none"> — Décider des cultures à considérer dans le dimensionnement — Procéder à une analyse agronomique de la situation — Décrire les impacts sur l'environnement et vérifier s'il y a une obligation de procéder à une étude d'impact sur l'environnement 	
Aptitude des sols à être irrigués	<ul style="list-style-type: none"> — Évaluer approximativement les propriétés pédologiques par zones — Évaluer les risques importants et présenter des solutions possibles — Si nécessaire, délimiter des zones qui présentent un risque élevé 	
Besoin en eau	<ul style="list-style-type: none"> — Estimer le besoin en eau et le besoin de pointe — Dimensionner approximativement l'installation — Dimensionner approximativement le réservoir 	
Disponibilité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> — Décrire les sources d'approvisionnement en eau et les volumes d'eau utilisables — Estimer approximativement le bilan hydrologique, adapter le projet si nécessaire 	
Efficacité et monitoring	<ul style="list-style-type: none"> — Choisir des mesures d'amélioration de l'efficacité adaptées — Identifier les chiffres de référence importants concernant l'efficacité de l'utilisation de l'eau et l'efficacité énergétique 	
Aspects financiers	<ul style="list-style-type: none"> — Évaluer les coûts d'investissements et les coûts annuels — Chiffrer les avantages par culture et évaluer la rentabilité (capacité à assumer la charge financière) du projet dans son ensemble 	

A1.3 Étude de projet

But de l'étude du projet : une planification détaillée qui vise la demande d'autorisation de construire

Thèmes	Étapes de travail	Pertinence / degré de traitement
Situation de départ	— Lancement du projet et détermination des objectifs	
Contenus du projet en général	— Selon la norme SIA 406 (rapport technique, choix de la variante la meilleure, plans, etc.)	
Organisation du projet	<ul style="list-style-type: none"> — Décrire les régimes de propriété foncière — Créer l'organisme porteur du projet — Décrire l'organisation prévue de l'exploitation et préparer un avant-projet des documents fondateurs (statuts, règlements, etc.) 	
Analyse de situation	<ul style="list-style-type: none"> — Vérifier la sélection des cultures à considérer dans le dimensionnement — Vérifier l'analyse agronomique de la situation — Présenter l'approche prévue en cas de conflits entre impératifs de protection et utilisation 	
Aptitude des sols à être irrigués	<ul style="list-style-type: none"> — Vérifier les zones et les corriger si nécessaire — Délimiter et documenter les zones de risques dans lesquelles le risque est dû au sol — Définir la gestion du risque au moyen d'une stratégie pour les sols 	
Besoin en eau	<ul style="list-style-type: none"> — Estimer le besoin en eau et le besoin de pointe de manière approfondie — Dimensionner l'installation — Dimensionner le réservoir 	
Disponibilité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> — Déterminer les volumes d'eau utilisables et obtenir l'autorisation pour ces eaux — Estimer le bilan hydrologique de manière approfondie — Décrire l'approche en cas de déficits hydriques 	
Efficacité et monitorage	<ul style="list-style-type: none"> — Planifier des mesures d'amélioration de l'efficacité — Planifier le monitorage de la consommation effective d'eau — Choisir les chiffres de référence importants concernant l'efficacité de l'utilisation de l'eau et l'efficacité énergétique 	
Aspects financiers	<ul style="list-style-type: none"> — Établir une estimation des coûts pour les coûts d'investissement et évaluer les coûts annuels de manière approfondie — Présenter le plan de financement — Établir une clé de répartition des coûts et estimer les tarifs 	

-
- Procéder à une estimation approfondie de la rentabilité du projet dans son ensemble
 - Procéder à une analyse de sensibilité de la rentabilité
-

A2 Analyse de situation (chapitre 2)

A2.1 Justifications de la prise en considération de cultures

Justification	Explication	Justificatifs possibles
Rentabilité	La valeur créée grâce à l'irrigation dépasse les coûts de l'irrigation dans le périmètre	Se reporter au chapitre 7.4.1
Création de valeur et importance économique de la culture dans la région	Rôle crucial pour la création de valeur dans la région (y compris tout au long de la chaîne de création de valeur), valeur économique qui assure l'existence de l'exploitation	Présenter la situation sur le marché et les parts de marché, décrire la chaîne de création de valeur, montrer la part d'une culture dans la création de valeur par rapport au revenu global
Rapport favorable entre le besoin en irrigation et le revenu garanti	Une irrigation ciblée et limitée permet de garantir une grande partie du revenu	Présenter le besoin prévisible et le revenu assuré, les résultats d'essais concernant les phases critiques pour le stress hydrique de la culture, le besoin d'arrosage et le revenu assuré Montrer que l'eau est disponible en suffisance au moment du besoin d'irriguer
Conditions climatiques dans la région où le projet est prévu	Sécheresse durant des phases critiques de la culture prévue dans le périmètre	Résultats d'essais concernant les phases critiques pour le stress hydrique de la culture, données météorologiques (Agrometeo, MétéoSuisse)
Sécurité alimentaire	Grande importance de la culture dans le périmètre pour la sécurité alimentaire	Part de la production dans le périmètre par rapport à la production totale, parts du marché, part des importations de la culture

Tableau 14 Raisons et preuves possibles qui justifient l'utilisation d'une culture de catégorie II pour le dimensionnement (approche au cas par cas)

A2.2 Conflits potentiels

Les conflits entre différentes utilisations de l'eau, et ceux qui opposent l'irrigation et les impératifs de protection sont susceptibles de restreindre la taille des projets ou d'en compliquer la réalisation. Ces conflits sont divers, par leur nature comme par leur intensité, comme le montre le tableau synoptique ci-dessous. Les cantons peuvent en ajouter d'autres ou les répartir différemment.

Intensité du conflit	Zones à protéger	Autres conflits
Exclusion	Inventaire fédéral des haut-marais et marais de transition, inventaire fédéral des bas-marais et inventaire fédéral des zones alluviales (biotopes d'importance nationale) Sites marécageux d'importance nationale Zone de protection des eaux souterraines S1 Zones de protection des eaux souterraines S2 ²² , Sh ²³	
Forte protection ou conflit, nécessité d'une pesée des intérêts	Inventaire fédéral des sites de reproduction de batraciens, inventaire fédéral des prairies et des pâturages secs (biotopes d'importance nationale) Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP) Marais, zones alluviales, de reproduction de batraciens d'importance régionale ou cantonale Sites Émeraude Forêt protectrice Zones archéologiques et monuments historiques protégés Eaux où vivent des espèces de poissons menacées d'extinction Zone de protection des eaux A _o Zone de protection des eaux souterraines S3, Sm Aire d'alimentation Espace réservé aux eaux	Lignes ferroviaires, autoroutes, routes cantonales Conduites industrielles Ouvrages destinés à des conduites Cadastre des sites pollués
Protection moyenne ou conflit	Revitalisations prévues ou réalisées Cours d'eau naturels ou presque naturels Zone de protection des eaux A _u	Chemins agricoles, routes communales

Tableau 15 Tableau synoptique des conflits potentiels

Approches généralement possibles pour faire face à un conflit :

- Adapter le périmètre d'un projet d'irrigation
- Adapter l'emplacement des infrastructures et le tracé des conduites
- Procéder à une pesée des intérêts, suivant la mesure dans laquelle le périmètre est concerné et de l'objectif concret de la protection
- Pour les zones de protection des eaux souterraines et les aires d'alimentation : adapter le choix des cultures et l'exploitation
- Aptitude des sols à l'irrigation (chapitre 3)

22 Selon les Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines (OFEFP 2004), l'irrigation n'est pas autorisée dans la zone S2. Toutefois, l'autorité compétente peut accorder une dérogation après un examen du cas d'espèce.

23 Selon le module de l'aide à l'exécution « Protection des eaux souterraines : aquifères karstiques et fissurés fortement hétérogènes » (OFEV, 2022), l'irrigation n'est pas autorisée dans la zone S_h. Toutefois, l'autorité compétente peut accorder une dérogation après un examen du cas d'espèce.

A3 Aptitude des sols à être irrigués (chapitre 3)

A3.1 Normes et valeurs de référence

Le tableau qui suit donne des normes et des valeurs de référence qui s'emploient pour déterminer des propriétés pédologiques, et donc pour évaluer les risques et l'aptitude des sols à être irrigués.

Propriété	Valeurs de référence	Interprétation des valeurs de référence pour le risque potentiel, mesures pour les zones à risque
Cartes FAL 24+ à l'échelle 1:10 000 - 1:5 000 (si disponibles)	Profondeur utile pour les plantes : extrêmement profond > 150 cm très profond 100 - 150 cm profond 70 - 100 cm modérément profond 50 - 70 cm plutôt peu profond 30 - 50 cm peu profond 10 - 30 cm très peu profond < 10 cm	Sols peu épais = (très) peu profonds (< 30 cm) et plutôt peu profonds (30 - 50 cm) : augmenter la fréquence d'irrigation, limiter la quantité d'eau ou l'intensité, apporter de la substance organique
Carte des aptitudes des sols à l'échelle 1:200 000 ²⁴	Profondeur Granulométrie Pierrosité Capacité de rétention hydrique Capacité de rétention de substances nutritives Perméabilité Tendance à l'engorgement en eau Forme d'humus Classes d'inclinaison de la pente	
Capacité de rétention hydrique	Tirée de la profondeur utile pour les plantes : très élevée ≥ 100 mm élevée = entre 70 et 100 mm moyenne = entre 50 et 70 mm faible < 50 mm	Sols à faible capacité de rétention hydrique : augmenter la fréquence, limiter la quantité d'eau ou l'intensité, apporter de la substance organique, déterminer la hauteur de l'apport en eau facilement disponible pour les plantes (voir A6)
Descriptions des profils (norme FAL 24+ ²⁵)	Entre autres : type de sol, texture, profondeur, groupe de régime hydrique, horizons, sous-types I et G (influence de la zone saturée en eau et des eaux souterraines), pierrosité	
Sols sableux	Moyenne pondérée de la teneur en sable des premiers 50 cm > 70 %, classe de granulométrie SS et IS selon le triangle de granulométrie ²⁶	Augmenter la fréquence, limiter la quantité d'eau ou l'intensité
Sols argileux	Argile moyenne pondérée dans les 50 premiers cm > 30 %, classe de granulométrie tL, IT, T tU selon le triangle de granulométrie.	Augmenter la fréquence, limiter la quantité d'eau ou l'intensité, prendre des mesures pour prévenir la compaction des sols
Sols silteux	Moyenne pondérée de la teneur en silt dans les 50 premiers cm > 50% classe de granulométrie sU, U, IU, tU selon le triangle de granulométrie.	Limiter la quantité d'eau ou l'intensité, prévoir des mesures de protection contre l'érosion selon le chapitre 6.1
Sols avec stagnation hydrique	Sols qui contiennent une couche imperméable et des signes d'hydromorphie (faibles taches de rouille, g au-dessus de 40 cm ou fortes taches de rouille, gg au-dessus de 60 cm (épaisseur de 20 cm minimum) = sous-type I3/I4, pseudogley, pseudogley à terre brune	Augmenter la fréquence, limiter la quantité d'eau ou l'intensité
Sols influencés par les eaux souterraines	Sols influencés par les eaux souterraines et des signes d'hydromorphie (faibles taches de rouille, g au-dessus de 40 cm ou taches de rouille fortes ou	Augmenter la fréquence, limiter la quantité d'eau ou l'intensité, identifier les risques de lessivage

²⁴ Office fédéral de la statistique OFS, 2020 : [Aptitudes des sols de la Suisse](#). Accès le 21.12.2023

²⁵ AfU Kt. SO, 2017. Bodenkartierung Kt. SO, Projekthandbuch Teil III, Kartiermethodik (Kartiermethode FAL24+), unveröffentlicht, 40 S.

²⁶ Brunner J, Jäggli F, Nievergelt J, Peyer K, 1997. Manuel de cartographie, Cartographie et estimation des sols agricoles. Station fédérale de recherches en agro-écologie et agriculture, Zürich-Reckenholz, 1997, 175 p.

Propriété	Valeurs de référence	Interprétation des valeurs de référence pour le risque potentiel, mesures pour les zones à risque
	conditions réductrices, gg ou r au-dessus de 60 cm (épaisseur de 20 cm minimum) = sous-type G4, G5, G6, gley, gley à terre brune	
Sols avec grande différence de granulométrie entre la couche supérieure et la couche sous-jacente du sol	Plus de 20 % de différence dans la teneur en argile à 25 et à 75 cm de profondeur	Sols avec une capacité restreinte d'infiltration / de rétention de l'eau : augmenter la fréquence, limiter la quantité d'eau ou l'intensité
Observation de l'érosion ²⁷ sur site	faible = 2 - 4 t /ha moyenne 4 - 10 t / ha élevée = > 10 t / ha	Prévoir des mesures de protection contre l'érosion (chapitre 6.1) en cas de perte de supérieure à 4 t / ha / an, prévoir d'adapter l'intensité de l'irrigation
Carte des risques d'érosion (CRE2 ²⁸)		Prévoir des mesures de protection contre l'érosion (se reporter au chapitre 6.1) en cas de risque de perte de sol moyenne en t/ha*an > 30, prévoir d'adapter l'intensité de l'irrigation
Rapport humus-argile ²⁹ (n'a de sens que sur la base de valeurs mesurées et analysées en laboratoire pour l'humus et l'argile ; les valeurs estimées ne sont pas significatives)	Rapport humus - argile inférieur à 12 = insuffisant, constitution d'humus nécessaire Rapport humus - argile compris entre 12 et 16,9 = modéré, amélioration attendue Rapport humus - argile compris entre 17 et 23,9 = bonnes conditions Rapport humus - argile supérieur à 24 = très élevé, possibilité d'une minéralisation trop élevée	< 12 - 16,9 : prévoir une stratégie de constitution d'humus pour les exploitations ≥ 17 : prévoir une stratégie de maintien de l'humus pour les exploitations
Analyse du pH (pH H ₂ O) ³⁰	< 5,3 fortement acide 5,3 - 5,8 acide 5,9 - 6,7 faiblement acide 6,8 - 7,2 neutre 7,3 - 7,6 faiblement alcalin > 7,6 alcalin	Définir les parcelles dont le pH est problématique, pH < 5,9 : chaulage de redressement nécessaire, pH 5,9 - 7,2 : chaulage d'entretien
État de la surface et présence de compactions d'après SolDoc (https://testbeche.ch/)	Agrégats intacts, bien reconnaissables, surface perméable Agrégats en partie lavés, surface rugueuse Agrégats lavés, surface partiellement croûtée, lissée ou compactée, peu perméable Croûte de battance ou de sédiments, compaction, perméabilité très mauvaise Observations pendant le creusement	Agrégats intacts, bien reconnaissables, surface perméable : pas de mesure nécessaire Toutes les autres classes : examiner l'intensité du travail, examiner le rapport humus - argile, examiner la granulométrie (qui favorise l'érosion ?), prévoir des mesures de protection contre l'érosion (chapitre 5.1) Présence d'une semelle de labour ou compaction : prévoir une adaptation de la fréquence et de la quantité d'eau / intensité, prévoir des mesures de prévention / de décompactations
Données insuffisantes		P. ex. pour les teneurs en humus : planifier des analyses pédologiques des terres ouvertes pour les cinq années qui suivent

²⁷ Prasuhn V., Fischler M., 2007 : Quelle quantité de terre perdue? Fiche technique : érosion, Revue UFA, 11, 2007, 37-44. Éd. : Agridea.

²⁸ Gisler S., Liniger H.P., Prasuhn V., 2014. Rapport technico-scientifique relatif à la carte du risque d'érosion de la surface agricole utile de la Suisse à l'aide d'un modèle numérique de terrain (grille ou raster de 2 x 2 mètres) (CRE2) CDE Université de Berne et ART Reckenholz-Tänikon, 123 p.

²⁹ Johannes A., Matter A., Schulin R., Weisskopf P., Baveye P.C., Boivin P., 2017: Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? Geoderma 302, 14-21, doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021.

³⁰ Richner W., Sinaj S., 2017 : Principes de la fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017). Recherche Agronomique Suisse, 8, (6), 2017, Publication spéciale, 276 p., chapitre 2.

Tableau 16 Normes et valeurs de référence destinées à l'observation des propriétés pédologiques et à leur interprétation pour estimer l'aptitude des sols à l'irrigation. Les lignes sur fond bleu clair indiquent des propriétés pédologiques qui dépendent du travail du sol, dont l'observation est utile surtout au niveau de l'exploitation dans l'étude du projet.

A3.2 Description des risques possibles

Risques	Description
Risque d'érosion et de ruissellement	Ce risque est certainement le risque le plus grand dans nos zones climatiques. L'intensité de l'irrigation par aspersion correspond à celle d'une forte pluie ; elle est donc supérieure aux valeurs moyennes employées pour cartographier le risque d'érosion. Le risque est encore accru lorsque les cultures arrosées (pommes de terre ou carottes p. ex.) sont cultivées en ligne, car l'écoulement de l'eau est favorisé, ce qui augmente le risque d'érosion. Le risque d'érosion qui résulte du choix des cultures et de l'exploitation peut être estimé au moyen du calcul du facteur CP ³¹ de la CRE2. Un autre facteur d'érosion important est la capacité d'infiltration du sol, qui est influencée par l'état de la structure de la surface. Si cette structure n'est pas stable, l'impact des gouttes d'eau crée une croûte de battance ou une dislocation et un déplacement des particules qui forment le sol. Plus l'intensité de l'irrigation dépasse la capacité d'infiltration du sol (voir l'annexe A5) et plus la parcelle est sensible au sens de la carte des risques d'érosion, plus le risque d'érosion augmente.
Risque de compaction	Le risque de compaction est plus élevé dans les sols humides. Les compactations réduisent le taux de pores grossiers et réduisent donc l'infiltration de l'eau. Il en résulte une dégradation des conditions de croissance des racines, une augmentation des écoulements et un accroissement du risque d'érosion. L'irrigation peut augmenter le risque de compaction, car les sols irrigués sont souvent humides. Il faut en tenir compte lorsque l'on roule sur ces sols. L'irrigation de sols compactés comporte d'autres risques encore.
Risque de réduction de l'infiltration et de la capacité de rétention de l'eau	L'eau ne peut pas s'infiltrer dans les sols dont la surface est dégradée (compactée, croûtée par battance) ou imperméable (car argileuse p. ex.). L'irrigation est moins efficace et elle provoque plus d'érosion. Les sols très peu profonds (en raison de roches, d'une zone saturée en eau ou d'eaux souterraines) et ceux dont la structure est dégradée (compactations p. ex.) ne peuvent accumuler que très peu d'eau. Peu de temps après l'irrigation, le sol est déjà saturé et il n'absorbe plus d'eau (infiltration entravée).
Risques liés aux eaux souterraines et aux zones saturées en eau	Les sols qui contiennent des eaux souterraines situées à peu de profondeur sont souvent irrigués, alors même qu'ils sont alimentés par cette zone saturée en eau. Il faut noter que la zone d'enracinement est restreinte par l'eau qui se trouve dans les sols. De ce fait, les systèmes racinaires se développent moins bien que dans les sols perméables. Il existe aussi un risque de réduction de la capacité de rétention de l'eau et donc un risque d'accélération du ruissellement de surface. De plus, il existe un risque de lessivage d'éléments nutritifs et de produits phytosanitaires qui aboutiront dans les eaux souterraines.
Risque de lessivage	Le fait qu'une grande partie de l'eau s'infiltra dans les sols peut entraîner un lessivage accru d'ions alcalino-terreux comme du Ca, du Mg et du K, ainsi qu'un lessivage de nitrates et de sulfates. Cette situation est particulièrement problématique pour les sols perméables. Outre un manque d'éléments nutritifs et une acidification potentielle des sols, il peut également se produire une pollution des eaux souterraines. Il existe aussi un risque d'infiltration des produits phytosanitaires lorsque l'irrigation est réalisée à un moment défavorable.
Risque de perte d'eau	Si les sols sont très perméables et que leur capacité de rétention hydrique est faible, le risque existe que l'eau appliquée par le système d'irrigation ne soit pas stockée de façon optimale et qu'elle se perde dans les couches inférieures du sol. Cela provoque des coûts inutiles.
Risque de salinisation	Une irrigation inadéquate ou l'utilisation d'une eau à forte teneur en sels (NaCl p. ex.) peut saliniser les sols. Cet effet n'est encore pas très marqué, mais il pourrait gagner en importance durant des périodes de sécheresse plus intenses.
Risque de réduction de l'infiltration et de la capacité de rétention de l'eau	L'eau ne peut pas s'infiltrer dans les sols dont la surface est dégradée (compactée, croûtée par battance) ou imperméable (car argileuse p. ex.). L'irrigation est moins efficace et elle provoque plus d'érosion. Les sols très peu profonds (en raison de roches, d'une zone saturée en eau ou d'eaux souterraines) et ceux dont la structure est dégradée (compactations p. ex.) ne peuvent accumuler que très peu d'eau. Peu de temps après l'irrigation, le sol est déjà saturé et il n'absorbe plus d'eau (infiltration entravée).

Tableau 17 Description des risques

³¹ Agroscope : [calculateur du facteur CP](#)

A4 Besoin en eau et dimensionnement (chapitre 4)

A4.1 Valeurs indicatives et des modèles actuellement disponibles

Valeurs indicatives du besoin d'irrigation

Le Tableau 18 présente les bases de données consacrées au besoin d'irrigation les plus courantes, et signale aussi les lacunes dans ces données. Ces bases actuellement utilisables sont développées et complétées en continu. Voici d'autres bases de données qu'il est aussi possible d'utiliser :

- Zinkernagel (2022)³² : valeurs indicatives valables pour des cultures maraîchères selon différents scénarios climatiques en Allemagne.
- Chambre d'agriculture de Basse-Saxe, Allemagne³³ : en partie transférable aux conditions suisses (précipitations annuelles : 622 mm, sable silteux).

Source	Validité et validation	Cultures disponibles	Scénarios disponibles
Fuhrer et Smith, 2015 ³⁴	Pas complètement validé par des valeurs empiriques	Peu de données sur les cultures spéciales	Nombre insuffisant de stations météorologiques, scénarios climatiques anciens
Valeurs empiriques tirées de la pratique	Projets non comparables		Pas de projections, souvent seules des valeurs annuelles sont disponibles
Eisenring, 2021 ³⁵	Pas entièrement validé avec des informations de référence et des valeurs empiriques	Données lacunaires pour tous les groupes de cultures	Nombre insuffisant de stations météorologiques
DWA-M 590 ³⁶	Fondé sur les données de stations météorologiques situées en Allemagne, validé par un groupe de travail		Pas de projection

Tableau 18 Données actuellement utilisables pour estimer le besoin d'irrigation, avec : l'évaluation de la qualité de leur validation, la mention des cultures pour lesquelles des valeurs sont disponibles et l'indication de la disponibilité ou non des principaux scénarios utilisés pour évaluer le besoin (fond vert : données de bonne qualité ; fond jaune : données lacunaires ; fond orange : données insuffisantes).

³² Zinkernagel, Jana, et al. « Der Bewässerungsbedarf von Freilandgemüse steigt. » Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft (2022).

³³ Chambre d'agriculture de Basse-Saxe, Allemagne : Beregnungsversuche in Hamersdorf. Langzeitversuche seit 2006 in Ackerkulturen mit und ohne Beregnung.

³⁴ Fuhrer, Jürg ; Smith, Pascale (2015) : Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft.

³⁵ Eisenring Sebastián, Holzkämper Annelie, Calanca Pierluigi. « Berechnung der Bewässerungsbedürfnisse unter aktuellen und zukünftigen Bedingungen in der Schweiz. » Agroscope Science 107 (2021) : 55.

³⁶ Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2019) : Merkblatt DWA-M 590 Grundsätze und Richtwerte zur Beurteilung von Anträgen zur Entnahme von Wasser für die Bewässerung. Juin 2019 Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA-Regelwerk, 590).

Fuhrer et Smith, 2015

Tableaux de valeurs indicatives modélisées du besoin d'irrigation actuel et futur pour une sélection de grandes cultures et de cultures maraîchères, fruitières ou de petits fruits.

- 12 cultures (fraise, oignon, betterave, pomme, pruneau, cerise, raisin, betterave sucrière, pomme de terre, maïs grain, blé d'automne, herbage)
- 11 stations météorologiques (Bâle, Aigle, Berne, Genève, Magadino, Payerne, Zurich Affoltern, Sion, Wynau, Saint-Gall ; herbages aussi pour Altdorf et Samedan)
- Trois types de sols (limon argileux, profond ; limon sableux, profond ; limon sableux, peu profond)
- Période de référence des données climatiques 1981-2010 ; chaînes de modèles du changement climatique CH2011

Il manque des valeurs de références sur des cultures maraîchères importantes et sur les sols organiques, et la couverture régionale est insuffisante, par exemple pour des régions importantes en termes d'irrigation dans les cantons de Berne et de Fribourg.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> — Simple et clair — Élaboré et validé dans le cadre d'un projet de recherche 	<ul style="list-style-type: none"> — Anciennes chaînes de modèles du changement climatique (CH2011) — Données lacunaires pour des cultures maraîchères importantes — Pas de données pour les sols organiques — Couverture régionale insuffisante (p. ex. dans les cantons de Berne et de Fribourg) — Dans les grandes cultures, valeurs élevées par rapport aux valeurs empiriques

Tableau 19 Avantages et inconvénients des valeurs de références de Fuhrer et Smith pour l'estimation des besoins.

Valeurs empiriques de la pratique

Consulter des valeurs indicatives, documentées ou fondées sur l'expérience, concernant le besoin annuel d'irrigation et, si possible, concernant la distribution annuelle. L'expérience montre que ces données sont mal documentées ou lacunaires.

Sources possibles :

- Projet d'utilisation durable des ressources « Efficiency Irrigation Vaud » : documentation des volumes d'irrigation indiqués par des responsables d'exploitations de grandes cultures et de cultures maraîchères ou fruitières depuis 2018
- Manuel des légumes, USL
- Enquête menée auprès d'initiateurs de projet

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> — Simple et clair — Adapté aux conditions régionales 	<ul style="list-style-type: none"> — Pas de projection — Projets non comparables — Données souvent peu documentées et les valeurs disponibles sont souvent des valeurs annuelles

Tableau 20 Avantages et inconvénients des valeurs empiriques pour l'estimation des besoins.

Eisenring et al., 2021

Tableaux de valeurs de références modélisées du besoin d'irrigation futur pour une sélection de grandes cultures et de cultures maraîchères, fruitières ou de petits fruits.

- 9 cultures (pommes de terre, salade iceberg, herbages, carottes, maïs doux, pomme, fraise, trèfle, pâturage)
- 7 stations météorologiques (Changins, Payerne, Aigle, Berne, Bâle, Zurich, Güttingen)
- Publié pour un sol moyen en Suisse (données brutes disponibles sur demande pour 9 types de sols)
- Chaînes de modèles du changement climatique (CH2018 ; 12 chaînes de modèles RCP2.6 ; 30 chaînes de modèles RCP8.5)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> — Simple et clair — Chaîne de modèle actuelle du changement climatique (CH2018) 	<ul style="list-style-type: none"> — Validation incomplète des résultats par des spécialistes et au moyen de valeurs indicatives empiriques — Données lacunaires pour tous les groupes de cultures — Faible résolution spatiale

Tableau 21 Avantages et inconvénients des valeurs de références d'Eisenring et al. pour l'estimation des besoins.

DWA-M 590

Tableaux des valeurs de références du besoin d'irrigation actuel d'une sélection de grandes cultures et de cultures maraîchères, fruitières ou de petits fruits, élaboré par un groupe d'experts en Allemagne. Ces valeurs, qui servent de base à l'octroi de droits d'utilisation, sont en cours de révision.

- Nombreuses cultures (grandes culture et cultures maraîchères, fruitières ou de petits fruits, horticulture)
- Peut être adapté à toute l'Allemagne au moyen du bilan hydrique climatique
- Peut être adapté à différents types de sols au moyen de la réserve en eau utile des sols (RU)
- Période de référence des données climatiques : 1981-2010

Modèles d'estimation du besoin d'irrigation

Le Tableau 22 présente des modèles servant à estimer le besoin d'irrigation. Ces modèles sont d'accès public. Différents bureaux d'ingénieurs ont également développé des modèles en se basant sur une méthode et une approche similaires.

Modèle	Validité et validation	Cultures disponibles	Scénarios disponibles
CropWat, FAO 56 ³⁹	Les paramètres par défaut sont souvent ceux de régions arides		
Application Irrigation (« Bewässerungs-App », ALB-Bayern) ³⁷		Actuellement encore des lacunes dans les cultures maraîchères et de petits fruits	Pas de données pour la projection
Modèles mécanistiques de la croissance des plantes (CropSyst, SWAP ³⁸ p. ex.)	Valable pour les cultures et les emplacements dans la zone validée	Applicable aux cultures spéciales à certaines conditions	

Tableau 22 Modèles d'accès public servant à estimer le besoin d'irrigation, avec : l'évaluation de la qualité de leur validation, la mention des cultures pour lesquelles des valeurs sont disponibles et l'indication de la disponibilité ou non des principaux scénarios utilisés pour évaluer le besoin (fond vert : données de bonne qualité ; fond jaune : données lacunaires ; fond orange : données insuffisantes).

CropWat est un logiciel gratuit de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) qui permet de calculer le besoin d'irrigation pour un grand nombre de cultures et de types de sols³⁹. Pour estimer les besoins dans un périmètre, on peut notamment y faire figurer le besoin de plusieurs cultures tout au long de l'année.

CropWat, FAO

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> — Gratuit — Projections climatiques possibles (pour autant que les données brutes soient disponibles) — Disponible pour un grand nombre de cultures — Estimation régionale possible 	<ul style="list-style-type: none"> — Nécessite la saisie manuelle et répétée de nombreuses informations — Les paramètres par défaut sont souvent ceux de régions au climat aride et ne sont pas validés pour la Suisse

Tableau 23 Avantages et inconvénient d'une modélisation réalisée au moyen du logiciel CropWat (FAO) pour l'évaluation des besoins.

Application Irrigation (« Bewässerungs-App », ALB Bayern)

Application en ligne gratuite qui permet de calculer le besoin d'irrigation pour un grand nombre de cultures et de types de sols. Il est possible d'adapter un grand nombre de paramètres donnés par défaut. Une comparaison des résultats des 25 dernières années permet d'évaluer le besoin en tenant compte des risques.

— Disponible pour 50 cultures

³⁷ Müller Martin, Demmel Markus, Sander Gerd (2020) : Bewässerungs-App - ein webbasiertes Entscheidungssystem für bedarfsgerechtes Bewässern. Beratungsblatt. Éd. par Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB).

³⁸ Kroes, J.G., J.C. van Dam, R.P. Bartholomeus, P. Groenendijk, M. Heinen, R.F.A. Hendriks, H.M. Mulder, I. Supit, P.E.V. van Walsum, 2017. SWAP version 4; Theory description and user manual. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Report 2780. Lien : <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/416321>.

³⁹ Smith, Martin. CROPWAT : A computer program for irrigation planning and management. No. 46. Food and Agriculture Organization (FAO), 1992.

- Disponible pour 50 sites du Plateau suisse
- Peut être utilisée pour des réflexions et des conseils au niveau d'une seule exploitation

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> — Gratuit — Certains paramètres sont prédéfinis (simplification et standardisation des projets) — Validé par des mesures de l'humidité des sols et par des valeurs empiriques en Suisse — Possibilité d'exploitation de données chronologiques (pour l'Allemagne) — Disponible pour un grand nombre de cultures 	<ul style="list-style-type: none"> — Pas de données pour des projections climatiques — Couverture régionale insuffisante en Suisse (VS, BE surtout)

Tableau 24 Avantages et inconvénient d'une modélisation réalisée au moyen de l'application Web d'irrigation (ALB-Bayern) pour l'évaluation des besoins

A4.2 Analyse de sensibilité au dimensionnement

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour l'évaluation des besoins et le dimensionnement, avec deux scénarios (scénario actuel et scénario futur), au moyen de l'Application Irrigation (« Bewässerungs-App », ALB-Bayern)⁴⁰. Le Tableau 25 présente les facteurs analysés, les échelons de ces facteurs et leur influence sur le besoin total et le dimensionnement.

Facteur	Type de facteur ou échelons	Référence	Changement par rapport à la référence	
			Besoin annuel	Dimensionnement
Classe de texture	9 classes de texture ⁴⁰	Limon sableux	- 25 à + 50 %	- 50 à 0 %
Technique d'irrigation	Irrigation aérienne et irrigation goutte à goutte	Aérienne	- 10 %	- 20 %
Seuil d'irrigation	40 %, 50 % et 60 % de la réserve en eau utile des sols (RU)	50 % RU	- 50 à + 25%	- 50 à 0 %
Précipitations	Référence, - 10 %, - 20 %	2020	0 à + 25 %	0 %
Choix de l'année sèche	Jusqu'à 5 ans avec le même besoin annuel d'arrosage	2020	0 %	0 %
Choix de la couverture du risque pour une année sèche	21, 25 et 27 années sur 30 avec une irrigation adaptée aux besoins	25 années sur 30	- 25 à + 25 %	- 50 à 0 %
Combinaison de cultures	Référence, augmentation de 25 %, 50 %, 75 % ou 100 % des cultures méritant d'être irriguées		+ 25 à + 100 %	+ 25 à + 100 %
Jours avec irrigation	De 6 à 10 sur 10	10 jours sur 10	Pas de facteur	0 à + 67 %
Temps d'arrosage	15, 18, 21, 24 h sur 24	18 h sur 24	Pas de facteur	- 25 % à + 20 %

Tableau 25 Facteurs utilisés pour l'analyse de sensibilité, avec leur influence maximale sur le besoin total et sur le calcul du dimensionnement. Les pommes de terre sont prises comme exemple. Pour les précipitations, tous les volumes d'irrigation ont été uniformément réduits du facteur prévu. La durée des périodes sèches n'a pas été modifiée. Pour l'année

⁴⁰ Classes de texture allemandes selon l'institut allemand de recherche agricole LUFA, valeurs indicatives analogues à celles d'ALB Bayern : www.alb-bayern.de/app.

sèche, on a comparé plusieurs années qui présentent un même besoin annuel d'irrigation mais durant lesquelles les précipitations sont réparties différemment.

Les paramètres choisis pour le calcul sont les suivants :

- Station météorologique de Constance
- Année extrême : répondre aux besoins 25 années sur 30 (pommes de terre, 2020)
- Surface : 1 ha
- Sol : moyen, limon sableux
- Technique : irrigation aérienne
- Seuil : 50 % RU (sol organique : 60 % RU)
- Durée de l'arrosage : 16 h / jour
- Cultures de pommes de terre, d'oignons et de pommes

Les hypothèses posées pour l'analyse de sensibilité sont les suivantes :

- Surface du périmètre : 400 ha
- 2 types de sols
 - i. limon sableux, 60 % de la surface
 - ii. limon argileux, 40 % de la surface
- Combinaison de cultures par type de sol :
 - i. 15 % de pommes de terre, 10 % d'oignons, 5 % de pommes
 - ii. 10 % de pommes de terre, 5 % d'oignons, 5 % de pommes
- Les années de référence choisies pour la répartition mensuelle du besoin actuel sont les années 2019 pour la pomme de terre et l'oignon et 2008 pour la pomme.
- Le besoin futur a été estimé au moyen des données de l'année de référence 2020, car l'application ne fournit pas de données de projection.

Culture	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Total
<i>Limon sableux, besoin actuel</i>								
Pomme de terre			30	60			90	
Oignon	20			60			80	
Pomme			20	20			40	
<i>Limon argileux, besoin actuel</i>								
Pomme de terre			30	60			90	
Oignon	20			60			80	
Pomme			20	20			40	
<i>Limon sableux, besoin futur</i>								
Pomme de terre			30	90			120	
Oignon	30	20		120	30		200	
Pomme			80	20			100	
<i>Limon argileux, besoin futur</i>								

Pomme de terre	30	90	120
Oignon	25	20	120
Pomme	20	60	40

Tableau 26 Évaluation des besoins de trois cultures – pomme de terre, oignon et pomme – pour différentes classes de texture et scénarios. Le besoin mensuel et le besoin annuel sont indiqués en mm.

Influence des différents paramètres

La plus grande influence est exercée par : la combinaison des futures cultures, le choix du seuil à partir duquel irriguer, le type de sol, le choix de la couverture du risque et les différents paramètres de dimensionnement (calendrier d'irrigation, temps d'arrosage, tour d'eau, etc.). Tous ces paramètres sont définis dans le présent guide ou figurent dans le tableau des valeurs indicatives (sol).

Selon la classe de texture du sol, les valeurs du besoin total en mm et le débit nécessaire en l/s peuvent présenter une variation allant jusqu'à 50 % par rapport à la valeur maximale.

Classe de texture	RU/vol-%	Besoin total [mm]	l/s pour 1 ha de pommes de terre
Léger, sable (S)	9	175	1,05
Léger, sable légèrement limoneux (IS)	13	150	0,52
Moyen, sable fortement limoneux (IIS)	16	120	1,05
Moyen, limon sableux (sL)	19	120	1,05
Moyen, limon silteux (uL)	22	90	0,52
Lourd, limon argileux (tl)	17	120	1,05
Lourd, argile limoneuse (IT)	14	120	1,05
Lourd, argile (T)	10	180	1,05
Organique, marais (M)	30	120	0,52

Tableau 27 Influence de la classe de texture (source : LUFA) sur le besoin annuel d'irrigation (en mm) et sur le débit nécessaire (en l/s). Les pommes de terre sont prises comme exemple.

Selon la technique d'irrigation employée, les valeurs du besoin total en mm peuvent présenter une variation allant jusqu'à 10 % par rapport à la valeur maximale et jusqu'à 20 % pour le débit nécessaire en l/s.

Technique d'irrigation	Besoin total [mm]	l/s pour 1 ha de pommes de terre
Irrigation par aspersion (enrouleur, sprinkler)	120	1,05
Irrigation goutte à goutte	110	0,87

Classe de texture

Technique d'irrigation

Tableau 28 Influence de la technique d'irrigation sur le besoin annuel d'irrigation (en mm) et sur le débit nécessaire (en l/s). Les pommes de terre sont prises comme exemple.

Seuil d'irrigation

Selon le seuil fixé pour l'irrigation (de 40 % à 60 % de la réserve utile [RU]), les valeurs du besoin total en mm peuvent présenter une variation allant jusqu'à 60 % par rapport à la valeur maximale et jusqu'à 50 % pour le débit nécessaire en l/s.

Seuil d'irrigation	Besoin total [mm]	l/s pour 1 ha de pommes de terre
40 % RU	60	0,52
50 % RU	120	1,05
60 % RU	150	1,05

Tableau 29 Influence de la détermination du seuil d'irrigation du modèle sur le besoin annuel d'irrigation (en mm) et sur le débit nécessaire en l/s. Les pommes de terre sont prises comme exemple.

Niveau des précipitations

Selon le niveau annuel des précipitations, les valeurs du besoin total en mm peuvent présenter une variation allant jusqu'à 20 % par rapport à la valeur maximale. Les échelons analysés pour les différents facteurs n'influencent pas le débit nécessaire en l/s.

Précipitations	Besoin total [mm]	l/s pour 1 ha de pommes de terre
Station météorologique de Constance	120	1,05
- 10 %	120	1,05
- 20 %	150	1,05

Tableau 30 Influence du niveau de précipitations sur le besoin annuel d'irrigation en mm et sur le débit nécessaire en l/s. Les pommes de terre sont prises comme exemple.

Répartition des précipitations

Lors d'années qui présentent le même besoin annuel d'irrigation en mm, mais durant lesquelles les précipitations sont réparties différemment, le débit nécessaire ne change pas. En revanche, le moment du pic de consommation change.

Année	Besoin total [mm]	l/s pour 1 ha de pommes de terre	Moment du pic de consommation
2020	120	1,05	Juillet III
2013	120	1,05	Juillet II
2008	120	1,05	Juin III
1994	120	1,05	Juillet II

Tableau 31 Différences dans la répartition des précipitations lors d'années présentant le même besoin d'irrigation (5^e année la plus sèche sur 30 ans, couverture de risque de 80 %), et influence

de ces différences de répartition sur : le besoin annuel d'irrigation en mm, le débit nécessaire en l/s et le moment du pic de consommation (par tiers de mois, de I à III). Les pommes de terre sont prises comme exemple.

Définition d'une année sèche

Pour les différentes probabilités examinées (9^e, 5^e et 3^e années les plus sèches), entre deux et cinq années présentant le même besoin d'irrigation ont été évaluées. Les valeurs moyennes du besoin et du dimensionnement ont été employées pour cette évaluation. Lorsque la couverture du risque de sécheresse varie, les valeurs peuvent présenter une variation allant jusqu'à 40 % par rapport à la valeur maximale pour le besoin annuel d'irrigation et jusqu'à 50 % pour le dimensionnement. Dans les scénarios étudiés, le moment du pic de consommation ne change pas en fonction des différents échelons des facteurs examinés.

Taux de couverture du risque	Besoin total [mm]	l/s pour 1 ha de pommes de terre	Moment du pic de consommation
70 % (21 ans sur 30)	90	0,52	Juillet II
83 % (25 ans sur 30)	120	1,05	Juillet II
90 % (27 ans sur 30)	150	1,05	Juillet II

Tableau 32 Influence de différentes années sèches (9^e à 3^e années les plus sèches sur 30 ans, couverture du risque de sécheresse comprise entre 70 % et 90 %) sur : le besoin annuel d'irrigation en mm, le débit nécessaire en l/s et le moment du pic de consommation (par tiers de mois, de I à III).

Combinaison des cultures

La combinaison des cultures influence le besoin total et le dimensionnement de manière linéaire. L'extension de 25 % ou de 100 % d'une culture déjà irriguée entraîne une augmentation de 25 % ou de 100 % du besoin total et du débit nécessaire employés pour le dimensionnement.

Calendrier d'irrigation et temps d'arrosage

Deux facteurs sont employés pour calculer le débit de dimensionnement à partir du pic de consommation par tiers de mois.

- *Nombre de jours avec irrigation par tiers de mois* : on peut par exemple admettre par défaut qu'on arrosera 10 jours sur 10. Une diminution du nombre de jours avec irrigation entraîne une augmentation linéaire du débit ou du temps d'irrigation les jours restants.
- *Temps d'arrosage journalier* : par défaut, on peut par exemple admettre qu'on irriguera 16 heures par jour, en renonçant à irriguer pendant la période qui présente le risque d'évaporation le plus fort (entre 11 heures et 19 heures). Une réduction du temps d'arrosage journalier entraîne soit une augmentation linéaire du débit de pointe nécessaire pour couvrir les besoins de la plante, soit une augmentation de la fréquence d'irrigation ; et inversement, l'allongement du temps d'arrosage permet une réduction du débit de pointe et/ou de la fréquence d'irrigation.

A5 Disponibilité de l'eau (chapitre 5)

Le tableau ci-après fournit une vue d'ensemble des sources d'informations disponibles à l'échelle nationale. Les cantons disposent en outre de cartes et de données supplémentaires et plus détaillées, qui peuvent être consultées via les géoportails cantonaux.

Source des données	Description
<u>Débit et niveau des cours d'eau et des lacs, OFEV</u>	Pages des stations de mesure de débit de la Confédération avec des données actuelles ainsi que des données historiques et des statistiques, y compris des statistiques concernant les étiages.
<u>Scénarios hydrologiques Hydro-CH2018 web atlas</u>	L'atlas en ligne donne accès aux diagrammes et aux données du projet Hydro-CH2018 pour toutes les stations de mesure de débit, toutes les saisons, toutes les périodes futures et tous les scénarios d'émissions de CO ₂ pour lesquels des calculs sont disponibles.
<u>Portail de géodonnées de la Confédération</u>	<p><u>Carte des réservoirs aquifères 500</u> : vue d'ensemble de la productivité des nappes phréatiques</p> <p><u>Réseau hydrographique 1:2 mio</u> : vue d'ensemble du réseau fluvial (défini cartographiquement, pas hydrologiquement ; pas d'indication sur leur possibilité concrète d'être utilisée).</p> <p><u>Débits moyens (m³/s) et type de régime d'écoulement</u> pour le réseau hydrographique de la Suisse</p> <p><u>Débits moyens à l'avenir</u> : variations en pourcentage du ruissellement estival calculé vers la fin du siècle (2070-2099) par rapport à la période de référence (1981-2010) pour un scénario sans protection du climat (RCP8.5).</p>
<u>Atlas hydrologique de la Suisse</u>	Plate-forme de données et d'analyse contenant différentes données de base sur les eaux de surface et les eaux souterraines ainsi que sur les précipitations et l'évaporation.

Tableau 33 Données de base concernant l'hydrologie

Le tableau ci-dessous fournit des informations plus détaillées sur les différentes sources d'approvisionnement en eau.

Source d'approvisionnement en eau	Caractérisation
Eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> — Les eaux souterraines constituent généralement une source d'approvisionnement sûre en eau de bonne qualité. Les basses températures de l'eau et les éventuelles matières en suspension peuvent toutefois s'avérer défavorables. Selon la pratique cantonale applicable et la nature des réservoirs aquifères, l'utilisation à des fins d'irrigation est autorisée ou non. Les prélèvements dans les eaux souterraines peuvent être limités si le niveau de la nappe phréatique descend trop ou s'il existe des conflits d'utilisation avec l'approvisionnement en eau potable ou si cela influe négativement sur les cours d'eau (dispositions relatives aux débits résiduels). — Saisonnalité et résilience face à la sécheresse : la sécheresse entraîne une baisse, décalée dans le temps, du niveau des formations aquifères alimentées par les précipitations, qui ne se rétablissent que lentement. Les formations aquifères alimentées par des cours d'eau suivent davantage l'évolution annuelle des eaux de surface : selon la situation, de brefs pics de débit peuvent faire rapidement remonter leur niveau. Cependant, les eaux souterraines alimentent aussi les eaux de surface pendant les périodes de sécheresse. Lorsque c'est le cas, leur niveau ne doit pas être abaissé au point d'assécher les ruisseaux ou d'en réduire le débit. — Évolution avec le changement climatique : à l'avenir, avec le décalage prévu des précipitations, la recharge des eaux souterraines aura tendance à augmenter en hiver et au printemps pour diminuer en été et en automne. — Qualité et accessibilité : les eaux souterraines sont en principe de bonne qualité en Suisse, ce qui leur confère une priorité élevée pour l'approvisionnement en eau potable. Certains cantons n'autorisent que cette utilisation ou sont très restrictifs quant à l'utilisation pour l'irrigation.

Source d'approvisionnement en eau	Caractérisation
Cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> — Seuls les grands cours d'eau constituent en général une source sûre ; la qualité de leur eau est toutefois variable. Pour les cours d'eau de petite taille ou de taille moyenne, il faut s'attendre à des restrictions pendant les périodes de sécheresse prononcée. Lorsqu'il y a un risque d'atteinte aux habitats aquatiques, les cantons ordonnent une réduction, voire un arrêt des prélèvements. — Saisonnalité et résilience face à la sécheresse : il est indispensable de connaître les fluctuations annuelles des débits (type de régime) pour savoir si la phase d'étiage se produit pendant la saison d'irrigation. Les cours d'eau <i>de petite taille</i> ou <i>de taille moyenne</i> sont très sensibles aux périodes de sécheresse prolongées. Lors de sécheresse, il faut s'attendre à une réduction, voire à un arrêt des prélèvements. Il est en revanche rarement nécessaire de réduire les prélèvements dans les cours d'eau de <i>grande taille</i>. — Évolution avec le changement climatique : la tendance générale est à la diminution des débits en été et à l'augmentation en hiver. Les cours d'eau principalement issus de glaciers subiront de forts décalages saisonniers en raison du recul des glaciers. — Qualité : la qualité a tendance à être moins bonne que celle des eaux souterraines, en fonction des conditions dans le bassin versant. Les problèmes de qualité peuvent provenir aussi bien de polluants que de particules organiques ou de matières en suspension, qui posent particulièrement problème en cas d'irrigation goutte à goutte.
Lacs	<ul style="list-style-type: none"> — En règle générale, seuls les grands lacs constituent une source d'approvisionnement sûre. Pour les lacs de petite taille ou de taille moyenne, les possibilités d'utilisation dépendent de différents facteurs et sont incertaines, en particulier en cas de sécheresse. La qualité de l'eau a tendance à être moins bonne que celle des autres sources d'approvisionnement, à l'exception des grands lacs, et dépend de la profondeur des points de prélèvement. — Saisonnalité et résilience face à la sécheresse : le caractère saisonnier du volume d'eau des lacs dont le niveau est régulé dépend de cette régulation. En ce qui concerne les lacs non régulés, la saisonnalité correspond à celle du débit des effluents (voir description des cours d'eau). Les lacs de petite taille ou de taille moyenne sont très sensibles aux périodes de sécheresse prolongées. En cas de sécheresse, il faut s'attendre à une réduction, voire à un arrêt des prélèvements. Pour les grands lacs, les arrêts de prélèvement sont rares. — Évolution avec le changement climatique : les niveaux d'eau des lacs non régulés suivent les changements de régime d'écoulement des affluents. — Qualité de l'eau : la qualité de l'eau a tendance à être moins bonne que celle des autres sources d'approvisionnement, à l'exception des grands lacs, et dépend de la profondeur des points de prélèvement (en profondeur : éventuellement pas d'oxygène ; en surface : algues et bactéries ; entre les deux : bonne). — Les moules quagga et les algues notamment peuvent poser problème, car il arrive qu'elles colonisent et obstruent les prises d'eau et les canalisations.
Sources	<ul style="list-style-type: none"> — La plupart des sources ont un débit trop faible pour l'irrigation et ne constituent pas une source d'approvisionnement sûre pendant les périodes de sécheresse prolongée. — Saisonnalité et résilience face à la sécheresse : la sensibilité des sources à la sécheresse dépend de la situation spécifique. — Évolution avec le changement climatique : avec l'augmentation des périodes de sécheresse, la sécurité des débits des sources continue de reculer. — Qualité : en règle générale de bonne qualité. — Accessibilité : en fonction de la législation cantonale. Les sources étant importantes pour le débit des ruisseaux et souvent utilisées pour l'eau potable, leur exploitation est parfois limitée.
Eau de pluie	<ul style="list-style-type: none"> — L'eau de pluie collectée est en principe disponible partout. Elle est particulièrement intéressante pour les nouvelles constructions avec de grandes surfaces de toitures où l'eau peut être collectée. Les équipements servant à la recueillir doivent être combinés à un réservoir pour surmonter les longues périodes de sécheresse. — Saisonnalité et résilience face à la sécheresse : la saisonnalité des précipitations varie selon les régions. Cette source d'approvisionnement en eau n'est pas sûre pendant les périodes de sécheresse et sa résilience dépend fortement de la taille du réservoir et de la quantité d'eau nécessaire.

Source d'approvisionnement en eau	Caractérisation
	<ul style="list-style-type: none"> — Évolution avec le changement climatique : les précipitations ont tendance à augmenter en hiver et au printemps et à diminuer en été et en automne. L'évaporation augmente aussi pendant les mois d'été. — Qualité et accessibilité : la qualité de l'eau dépend du type de captage (toit, surfaces revêtues). Selon la situation, un permis de construire est nécessaire. L'eau de pluie n'est pas calcaire, ce qui a un effet positif sur l'irrigation goutte à goutte, par exemple.
Réseau d'eau potable	<ul style="list-style-type: none"> — Les réseaux d'eau potable servent à alimenter les zones d'habitation en eau potable comme en eau sanitaire et ne sont pas conçus pour répondre aux besoins de l'irrigation. Le prélèvement occasionnel de grandes quantités d'eau, comme c'est le cas pour l'irrigation, nécessiterait un surdimensionnement des installations. Cette situation peut à son tour entraîner des phénomènes de stagnation dans les conduites et par conséquent des problèmes de qualité, ce qui occasionne des coûts élevés. L'utilisation d'eau potable peut être envisagée en cas de surcapacité existante ou de situation d'urgence à court terme. — Saisonnalité et résilience face à la sécheresse : en période de canicule et de sécheresse, la demande en eau potable augmente, alors que les réseaux de distribution peuvent, en fonction de leurs sources, être confrontés à des difficultés d'approvisionnement. Il peut donc y avoir des restrictions d'utilisation. — Qualité : eau potable — Accessibilité : convention avec le service des eaux.

Tableau 34 Caractérisation des sources d'approvisionnement en eau

A6 Efficience et monitoring (chapitre 6)

A6.1 Axes stratégiques pour une utilisation efficace de l'eau

Technique de culture

- FAO, [Optimizing soil moisture for plant production](#)
- Calculer le [bilan humique](#) de parcelles sélectionnées
- Fiche technique d'Agridea, 2019 : Matière organique des sols cultivés – enrichir plutôt que consumer
- Fiches de données sur les grandes cultures, Agridea : Boden schonen mit dem Fünflibertest
- Fiche technique d'Agridea, 2014 : Prévenir le compactage des sols – conseils pratiques !
- Estimation de la praticabilité du sol à l'aide des données mesurées par le [réseau de mesure de l'humidité des sols](#)
- Estimer le risque de tassement du sol avec [Terranimo](#), le modèle de contrainte exercée sur le sol
- Observer et déterminer la structure du sol avec le test à la bêche : [www.testbeche.ch](#) (existe aussi en allemand et en italien)
- Projet fruitier : Interreg V : Gestion préventive des ressources en eau dans les cultures fruitières, KOB et Agroscope Wädenswil
- Cahier de fiches techniques de l'[OFAG](#) sur l'érosion
- Paillis de paille : épandre 2 à 5 t/ha avec une pailleuse, informations complémentaires auprès d'[Agroscope](#)
- Film de paillage biodégradable, informations complémentaires dans l'article du journal [die Grüne](#)
- [Spritzmulch](#), TFZ, Straubing
- [Résultats d'essais](#) (Allemagne) relatifs à l'incidence de la date de semis du blé sur le rendement et la sensibilité au stress hydrique (en allemand)
- Essais de longue durée de la [chambre d'agriculture de Basse-Saxe](#) avec les cultures les plus diverses dans des zones sèches de Basse-Saxe (en allemand). La culture du seigle y gagne en importance compte tenu de sa grande tolérance à la sécheresse.
- [Résultats d'essais](#) (Allemagne) relatifs à l'incidence de la densité de semis du blé sur le rendement et la sensibilité au stress hydrique (en allemand)
- Projet [Amélioration de la résilience de la pomme de terre](#), Agroscope
- [Étude sur la tolérance à la sécheresse de différentes variétés de pommes de terre](#) (en allemand)
- [Erntefenster von Obstsorten](#), KOB Bavendorf (en allemand)
- Kuster Thomas, 2020. Behangsregulierung im Obstbau. Schweizer Obst 02/2020

Bilan humique équilibré

Travail en douceur du sol

Capacité de stockage accrue
Prévention de l'érosion
Réduction de l'évaporation

Période de culture

Rotation des cultures

Densité de plantation

Choix des variétés

Éclaircissement des fruits

- De l'ombre pour les cultures sous abri, [fiche technique FiBL](#)
- Modèle d'[installation agri-photovoltaïque par Agroscope](#)

Ombre en cas de chaleur

Technique d'irrigation

Le Tableau 35 offre un aperçu des techniques d'irrigation les plus courantes et de leurs chiffres clés. Les sources suivantes proposent de plus amples informations :

Aperçu des techniques

- Kocher, A07-VII Gemüsekulturen beregenen. Édition LMZ.
- Boivin, C. et coll. 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation - Guide technique. Centre de référence an agriculture et agroalimentaire du Québec.
- Rickmann, M. und Sourell, H. (éd.) 2014. Bewässerung in der Landwirtschaft. Erling Verlag.

Chiffres clés	Enrouleur avec canon	Enrouleur avec rampe d'arrosage	Sprinkler	Irrigation goutte à goutte
Travail [h/(ha × quantité)]	0,5	0,5	2	10
Pression de service à l'hydrante [bar]	8	5	5	2
Consommation d'énergie [kWh/m ³]	0,5-0,7	0,4	0,4	0,2
Intensité d'irrigation [mm/h]	15-25	7-12	5-8	2
Précision de la distribution	+	++	+	+++
Pertes d'eau	30-50 % ⁴¹	20-23 % ⁴²	25-40 % ⁴²	5-10 % ⁴²

Tableau 35 Chiffres clés des techniques d'irrigation les plus courantes⁴³.

Il existe pour chaque technique d'irrigation des approches ou des outils permettant d'améliorer la précision de la distribution :

Précision de la distribution

Enrouleur avec canon :

- [Raindancer](#) : pas de chevauchement des positions d'arrosage et meilleure précision dans les coins grâce aux capteurs GPS.
- Pas d'arrosage en cas de fort vent (> 5 m/s).

Enrouleur avec rampe d'arrosage :

- Éviter l'utilisation sur des surfaces à forte pente ou sur les parcelles non rectangulaires.

Sprinkler :

- Buses avec protection contre le vent (p. ex. Wind Fighter, cf. Illustration 12).
- Pas d'arrosage en cas de fort vent (> 5 m/s).

Irrigation goutte à goutte :

⁴¹ van der Gulik, T.W. 1989. B.C: Sprinkler Irrigation Manual. Irrigation Industry Association of British Columbia.

⁴² Stark, J.C. und S.L. Love (éd.). 2003. Potato Production Systems. The University of Idaho Agricultural Communications.

⁴³ Michel, R., & Sourell, H. (éd.), 2014. Bewässerung in der Landwirtschaft. Erling.

- Pour les parcelles en pente : goutteurs à pression compensée, classe de résistance à la pression plus élevée.
- Pour les parcelles en pente : station de tête et alimentation au point le plus haut.
- Pour les parcelles longues : envisager une alimentation depuis le centre.
- Système de filtration adapté à la qualité de l'eau pour éviter les bouchages.
- Contrôle régulier, réparation des fuites, maintenance générale, etc.



Illustration 12 : Protection contre le vent pour sprinkler (modèle Wind Fighter).

Il existe pour chaque technique d'irrigation des approches permettant de réduire les pertes d'eau :

Réduction des pertes

- Enrouleur avec canon : [Raindancer](#) - pas de chevauchement des positions et pas d'arrosage au-delà de la limite du champ grâce aux capteurs GPS, système d'alarme en cas de défaut.
- Sprinklers : buses avec pluviométrie adaptée, protection contre le vent (p. ex. Wind Fighter, cf. Illustration 12).
- Irrigation goutte à goutte : goutteurs adaptés, contrôle régulier des lignes, réparation des fuites, maintenance générale.

Pour toutes les techniques d'arrosage par aspersion (canon, rampe d'arrosage, sprinklers), irriguer en dehors des périodes de fort vent ($> 5 \text{ m/s}$) et de températures élevées ($> 25^\circ\text{C}$) permet de réduire les pertes.

Dans la culture maraîchère, les plantons peuvent être alimentés en eau de manière très ciblée en les arrosant directement lors de la plantation (cf. Illustration 13).



Illustration 13 : Planteuse avec réservoir d'eau pour arroser et fertiliser de manière ciblée lors de la plantation.

Une irrigation ciblée et adaptée aux propriétés pédologiques contribue largement, en plus de la technique utilisée, à réduire les pertes (cf. section sur la gestion de l'irrigation). L'entretien régulier des installations permet également d'assurer une distribution efficace de l'eau et de prévenir les pertes.

Un équipement à la pointe de la technique et dimensionné correctement peut améliorer la précision de distribution ainsi que l'efficacité énergétique. Le Tableau 36 fournit un aperçu des valeurs indicatives relatives à la durée d'utilisation des installations et des équipements d'irrigation. Il va de soi que des compromis propres à chaque exploitation doivent être trouvés entre la rentabilité et l'état de la technique.

Entretien et renouvellement de l'équipement

Technique / appareil	Durée d'utilisation, en années (valeur indicative)	Source
Enrouleur avec canon	12	KTBL, Agroscope
Enrouleur avec rampe d'arrosage	12	KTBL, Agroscope
Sprinklers avec tuyaux en aluminium	35	Inforama
Irrigation goutte à goutte, station de tête et filtre	10	Inforama
Pompe, diesel	15	Agroscope
Pompe, électrique	20	Agroscope

Tableau 36 Valeurs indicatives relatives à la durée d'utilisation des installations d'irrigation.

Gestion ciblée de l'irrigation

Les capteurs dits « d'humidité » fournissent une mesure continue et spécifique à la parcelle soit de la force qui doit être appliquée pour absorber l'eau, soit de la teneur en eau du sol (cf. Tableau 37). Lors de l'utilisation de ces capteurs, il convient de tenir compte des aspects suivants :

Capteurs d'humidité

- Les mesures ne remplacent ni les observations dans la parcelle ni l'expérience, mais en sont un précieux complément.
- Les capteurs doivent être placés à un endroit représentatif de la parcelle (dans la ligne de plantation vers des plantes en bonne santé, dans l'espace racinaire de la culture, pas dans une dépression du terrain ou sur une colline, pas dans une zone présentant des propriétés pédologiques extrêmes).
- Une installation réalisée avec soin et conforme aux instructions du fabricant est indispensable pour obtenir des mesures fiables.
- En cas d'irrigation goutte à goutte, il est important de placer la sonde à proximité immédiate du goutteur.
- En culture fruitière : la mesure du diamètre du tronc ou du fruit constitue un indicateur plus direct et plus ciblé pour la gestion de l'irrigation.

Les sources suivantes fournissent de plus amples informations :

- Culture fruitière : [article d'Agroscope \(en allemand\)](#)
- Culture fruitière : [résultats intermédiaires du projet d'utilisation durable des ressources « Efficiency Irrigation Vaud »](#)
- Culture de petits fruits : Guide des petits fruits
- Protection contre le gel : [Gezielte Steuerung mit Sensoren](#)
- Grandes cultures et cultures maraîchères : [Bewässerungsforum Bayern, Merkblatt Sensoren](#)
- Grandes cultures et cultures maraîchères : [Bewässerungsnetz](#)

Grandeur mesurée	Avantages	Inconvénients
Tension de succion (p. ex. tensiomètre, watermark)	Recommandation et interprétation indépendamment de la classe de texture du sol	Lecture manuelle sur le terrain parfois nécessaire Imprécis en conditions sèches
Valeur seuil fréquente : 50 cbar	Valeurs seuils connues de la littérature Simple, bon marché	Pas d'indication possible sur la quantité d'eau d'irrigation Petit volume de mesure
Teneur volumétrique en eau du sol (p. ex. Plantcare, Sentek, Meter, Stevens, Soili Scout, Campell, Imko, Weenat, Gro Point)	Informations sur le moment de l'irrigation et le volume d'eau nécessaire Haute précision même dans des conditions sèches Transmission automatique	Recommandation d'irrigation uniquement en fonction de la classe de texture du sol Mesure imprécise en cas de mauvais contact avec le sol (petit volume de mesure)
Valeur seuil fréquente : 50 % de la capacité utile du champ	Mesure possible à plusieurs profondeurs de sol	

Tableau 37 Avantages et inconvénients des deux méthodes de mesure de l'humidité du sol les plus courantes avec exemples de capteurs. Les valeurs seuils peuvent varier en fonction du type de culture et du stade de celle-ci.

Les installations sont potentiellement commandées par des programmeurs qui permettent de piloter l'irrigation avec une meilleure efficience, notamment grâce à des doses plus faibles mais plus fréquentes. Un tel pilotage est particulièrement adapté pour les cultures à fort besoin en eau et sur les sols sableux.

Gestion automatique de l'irrigation

Agroscope a développé un système pour les vergers, testé dans le cadre du projet d'utilisation durable des ressources « Efficience Irrigation Vaud ». L'irrigation automatisée en goutte à goutte est pilotée en fonction des mesures de l'humidité du sol.

Bilan hydrique

Il est aussi possible de calculer la teneur en eau du sol et de cibler l'irrigation à l'aide de modélisations basées sur des données météo, les cultures et le sol. Les résultats de ces modèles peuvent être comparables à ceux obtenus par les mesures des capteurs. Lors de la mise en œuvre, il convient de tenir compte des points suivants :

- Les modèles ne remplacent ni les observations dans la parcelle ni l'expérience, mais en sont un précieux complément.
- Plus les données saisies sont spécifiques, plus la recommandation modélisée est adaptée au site.
- Le modèle se base toujours sur une croissance optimale des cultures. Lorsque les cultures sont affaiblies (maladies, organismes nuisibles, chaleur...), les besoins en eau peuvent être surestimés.

Différents modèles sont désormais disponibles :

- [Bewässerungs-App](#), ALB Bayern. Le modèle a été testé et évalué dans le cadre d'un projet sur trois ans (services de vulgarisation cantonaux de BE, FR, ZH, SG, TG, VD et AG ainsi que la HAFL) avec des mesures au moyen de capteurs : [rapport d'essai](#) et [instructions](#) (en allemand) pour utiliser l'application.
- [Sencrop](#)
- [Irré-LIS](#), Arvalis

Informations pédologiques

En fonction de sa texture, un sol peut stocker une quantité d'eau variable et réessuyer plus ou moins rapidement (cf. chapitre 3).

- On part du principe qu'environ 50 % de l'eau stockable est aisément disponible pour les plantes et peut être utilisée sans perte de rendement (on parle de réserve facilement utilisable ou RFU). Le Tableau 38 donnent des valeurs indicatives en termes de capacité de stockage du sol. La réserve maximale théorique constitue ce qu'on appelle la réserve utile RU qui dépend de la RFU et de la profondeur d'enracinement de la culture. Le cas échéant, une carte de la capacité de rétention d'eau des sols pourrait fournir des informations utiles.
- Il n'est pas toujours judicieux d'apporter la quantité d'eau maximale. La technique d'irrigation doit être adaptée en fonction de la capacité d'absorption d'eau du sol, de sorte que l'intensité de l'irrigation ne dépasse pas cette dernière. De même, les besoins de la culture en fonction de son stade de développement sont déterminants.
- Le volume des apports et l'intensité de l'irrigation peuvent être facilement vérifiés par des observations sur le terrain :
 - L'eau stagnante, en particulier dans les allées, indique une dose ou une intensité d'arrosage trop élevée ;
 - un test à la bêche après l'arrosage montre à quelle profondeur le sol a été humidifié. Si le sol est humide même largement sous la zone des racines, l'apport était trop élevé ; si le sol n'est pas humide jusqu'au bas de la zone des racines, l'apport était trop faible.

Classe de texture du sol	Capacité au champ [mm/10 cm]	Réserve facilement utilisable pour les plantes RFU [mm/10 cm]	Réserve utile RU avec une profondeur racinaire de 30 cm [mm]	Capacité d'absorption [mm/h]
Sable	11	5,5	16,5	25-50
Sable limoneux	18	9	27	18-35
Limon sableux	21	10,5	31,5	13-25
Limon	25	12,5	37,5	8-19
Argile	22	11	33	8
Sol organique	30-45	12-18	36-50	a. i.

Tableau 38 Propriétés pédologiques et recommandations qui en découlent pour l'irrigation, adaptées de Kocher, Edition LMZ et Achtnich, Ulmer Verlag.

Les besoins en eau des cultures varient en fonction de leur stade de développement. Les doses d'irrigation calculées en fonction des besoins de la culture au stade actuel de développement garantissent un apport en eau ciblé et adapté aux besoins. Le Tableau 39 fournit des valeurs indicatives de doses d'irrigation.

Stades de développement des cultures

Les sources suivantes peuvent fournir des informations complémentaires sur les différentes cultures :

- Petits fruits : [Merkblatt Hochschule Geisenheim](#)

- Cultures maraîchères : Kocher, A07-VII Gemüsekulturen beregnen. Edition LMZ
- Grandes cultures : topagrar (éd.), 2019. Ratgeber Bewässerung
- Grandes cultures : article de la Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Angela Riedel, Ekkehard Fricke)

Stade / sol	Dose adéquate [mm]
Culture de plantons	2
Climatisation / réfrigération	3
Semis de salades	4-6
Jeunes peuplements	10-15
Peuplements denses	20-40
Sols légers et sableux	Jusqu'à 20
Sols lourds et argileux	Jusqu'à 30

Tableau 39 Apports recommandés en fonction du stade de développement de la culture et de la classe de texture du sol (source : Kocher, édition LMZ).

Organisation et fonctionnement

- Les installations doivent être dimensionnées de telle sorte à pouvoir arroser l'ensemble des parcelles à des moments où le risque de pertes en eau est faible (cf. chapitre 4.3). Dimensionnement
- En cas d'irrigation avec des canons ou des rampes d'arrosage, le nombre de machines par exploitation doit être adapté à la surface irriguée. Plus il y a de machines, plus l'arrosage des surfaces sera flexible. Il est recommandé de ne pas irriguer plus de 12 à 15 ha avec un enrouleur (canon). Il s'agit de trouver l'optimum spécifique à chaque exploitation, entre rentabilité et utilisation optimale de l'eau et du temps de travail. Ordre flexible
- Les outils modernes d'enregistrement (compteurs d'eau, trace GPS) ou de pilotage automatique de l'arrosage (programmateurs, télémétrie, système Raindancer, débitmètre, etc.) facilitent la documentation et la traçabilité des activités d'irrigation.
- La planification de l'irrigation peut être simplifiée par l'utilisation de Doodle, de calendriers partagés ou d'autres outils de planification numériques.
- Avec une mécanisation importante au sein du périmètre, le temps de déplacement des machines est moindre, ce qui offre davantage de souplesse dans la planification.
- Les outils de gestion (cf. ci-dessus) facilitent une planification efficace pour les irrigants (calendrier d'irrigation, tours d'eau, temps d'arrosage, etc.) en fonction des besoins.

Formation et formation continue

Les documents suivants sont le fruit de longues années d'expérience et proposent des fiches d'information utiles :

Formation continue

- Grandes cultures : topagrar (éd.), 2019. Ratgeber Bewässerung
- Grandes cultures et cultures maraîchères : [Bewässerungsforum Bayern](#)
- Petits fruits : Guide des petits fruits
- Cerises : [article spécialisé d'Agroscope](#) (en allemand)

En plus des documents mentionnés, vous pouvez aussi consulter les vulgarisateurs cantonaux (conseil en production végétale, services spécialisés pour le maraîchage ainsi que la culture de fruits et de petits fruits) ou des institutions de recherche pour obtenir des informations complémentaires.

- Établir des vues d'ensemble simples avec les principaux indicateurs(besoins par stade de développement des cultures, dose d'irrigation en fonction du temps, caractéristiques techniques des machines, etc.).

Formation des collaborateurs

A6.2 Exemples de calcul et interprétation des indicateurs d'efficacité

Évaluation simple

L'intérêt se porte en particulier sur l'évolution annuelle de la quantité utilisée pour l'irrigation en m^3 et la surface arrosée annuellement en ha (cf. Illustration 14).

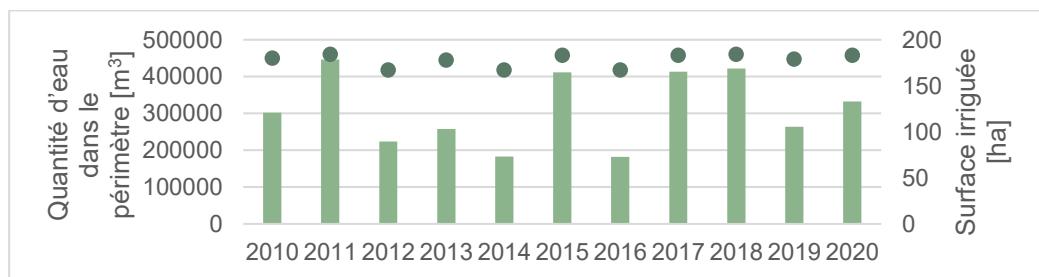


Illustration 14 Graphique-type de l'évolution annuelle de la quantité utilisée pour l'irrigation en m^3 (colonnes) et des surfaces irriguées en ha (points) dans le périmètre.

Lorsque les données sont enregistrées dans un fichier il est possible, à des fins de comparaison pluriannuelle, de calculer la quantité moyenne utilisée pour l'arrosage (en mm) sur toutes les surfaces arrosées (cf. Illustration 15) :

Quantité moyenne utilisée pour l'irrigation

$$\text{Quantité utilisée pour l'irrigation, moyenne [mm]} = \frac{\text{Consommation d'eau saison [m}^3\text{]} * 1000 \frac{\text{m}}{\text{m}^3}}{\text{Surface irriguée [ha]} * 10 000 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}}}$$

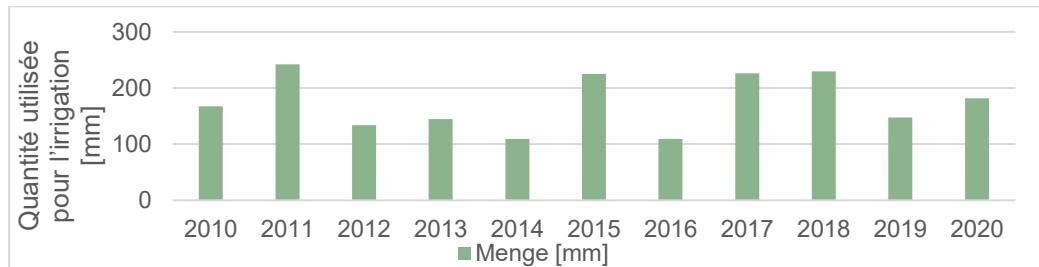


Illustration 15 Graphique-type de l'évolution annuelle de la quantité utilisée pour l'irrigation en mm (moyenne de toutes les cultures dans le périmètre).

Les évaluations et représentations ci-après peuvent être réalisées en se basant sur les données de surface par culture :

Cultures irriguées

- Surfaces irriguées en cultures des différents types I, II, III à prendre en considération pour le dimensionnement ou non (cf. chapitre 2.1).
- Évolution des proportions de cultures dans le périmètre (cf. Illustration 16).
- Proportion de surfaces irriguées par rapport à la surface totale d'une culture dans le périmètre au cours de l'année (cf. Illustration 17). Les données du relevé supplémentaire de l'Office fédéral de la statistique sur les surfaces irriguées en Suisse peuvent être utilisées à titre de comparaison⁴⁴.

44 OFS (Office fédéral de la statistique), 2022. Relevé des structures agricoles. Exploitations agricoles, emplois, surface utile par canton 2000-2021.

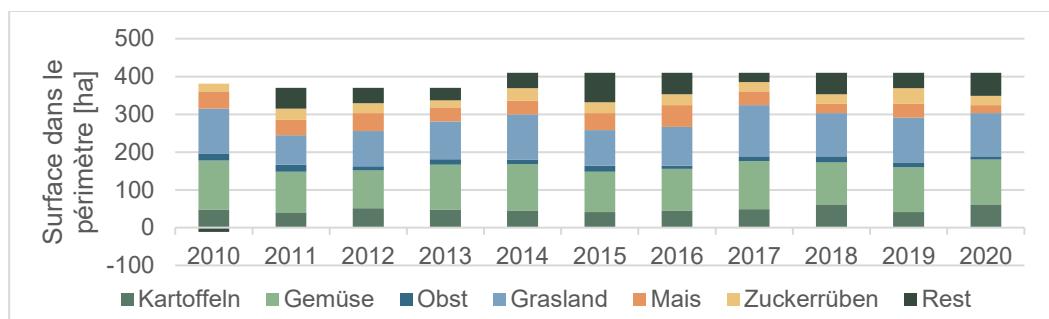


Illustration 16 Graphique-type de l'évolution des proportions de cultures (pommes de terre, légumes, fruits, herbages, maïs, betteraves sucrières, autres) dans le périmètre.

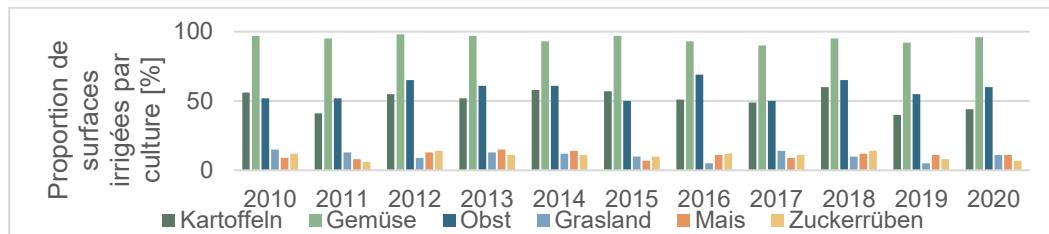


Illustration 17 Proportion de surfaces irriguées par rapport à la surface totale d'une culture (pommes de terre, légumes, fruits, herbages, maïs, betteraves sucrières) dans le périmètre.

Un exemple intéressant serait également la proportion de surfaces irriguées de façon économique (goutte à goutte, rampe d'arrosage) par rapport à la surface totale irriguée.

Technique d'irrigation

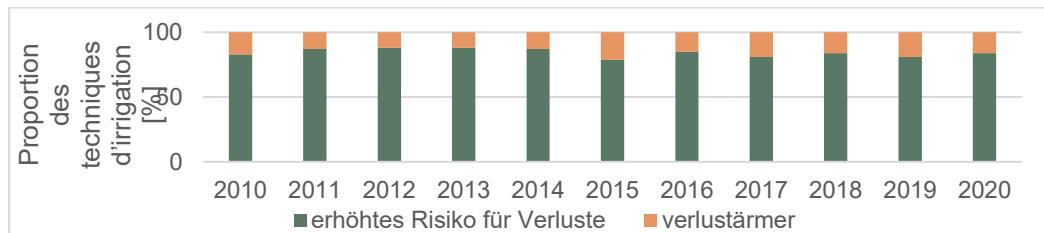


Illustration 18 Proportion de techniques d'irrigation générant peu de pertes (goutte-à-goutte, rampe d'arrosage) dans les cultures maraîchères du périmètre présenté (risque accru de pertes / risque réduit).

Évaluations complètes

Le volume d'eau d'irrigation par culture et par an est l'une des principales grandeurs de référence permettant de comparer et d'évaluer les besoins entre les différentes années. Elle nécessite toutefois des enregistrements spécifiques à la culture, voire, dans l'idéal, à chaque parcelle. Les valeurs indicatives peuvent être utilisées à titre d'aide à l'interprétation pour estimer les besoins. L'influence de l'année peut être estimée à l'aide de [l'indice de sécheresse](#) de MétéoSuisse. Pour simplifier, il est également possible d'utiliser les données relatives aux précipitations et aux températures (p. ex. MétéoSuisse ou Agrometeo).

Quantité d'eau d'irrigation par culture

Le nombre et la répartition des heures d'arrosage peuvent être évalués pour les différentes périodes de l'année grâce à des outils de gestion et d'enregistrement à l'échelle de la parcelle ou du réseau.

Proportion de l'irrigation en période de pertes faibles

Pour l'irrigation par aspersion, il peut aussi être intéressant d'examiner la proportion des heures d'arrosage aux périodes les moins favorables en termes de

perte (entre 12 h et 18 h ou plus précisément lorsque la température est supérieure à 25 °C ou la vitesse du vent supérieure à 5 m/s).

La productivité de l'eau indique le rapport entre la production agricole commercialisable et l'apport d'eau requis. Elle sert d'outil pour évaluer l'efficacité de l'irrigation. Cet indicateur est influencé par de nombreux autres facteurs (pluviométrie saisonnière, niveau de rendement dans le système de production, pression des organismes nuisibles, sol...) qui doivent être pris en considération lors de l'interprétation.

$$\begin{aligned} \text{Productivité de l'eau } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \\ = \frac{\text{Production commercialisable } \left[\frac{\text{dt}}{\text{ha}} \right] * 100 \frac{\text{kg}}{\text{dt}} * 10^{-5} \text{ ha/m}^2}{(\text{Précipitations}_{\text{saison}} [\text{mm}] + \text{irrigation} [\text{mm}]) * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}} \end{aligned}$$

Données :

- Production commercialisable : 450 dt/ha
- Précipitations pendant la saison (de la plantation à la récolte) : 310 mm
- Irrigation pendant la saison : 100 mm

Productivité de l'eau

Exemple : pommes de terre de consommation

Calcul :

$$\text{Productivité de l'eau } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{450 \frac{\text{dt}}{\text{ha}} * 100 \frac{\text{kg}}{\text{dt}} * 10^{-5} \frac{\text{ha}}{\text{m}^2}}{(310 \text{ mm} + 100 \text{ mm}) * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}} = \frac{4,5}{0,41} = 11 \text{ kg/m}^3$$

Le Tableau 40 fournit des valeurs indicatives pour différentes cultures irriguées. Lors de l'interprétation, il faut tenir compte du fait qu'elles dépendent de nombreux facteurs et qu'elles varient fortement d'une région de production à l'autre.

Culture	Productivité de l'eau, valeur indicative [kg/m ³]	Sources
Pommes de terre	10-15	Harris, 1978; Carr, 1983; Ahmadi, 2010 ⁴⁵
Maïs grain	1,1-2,7	Zwart, 2004; Lu, 2018 ⁴⁶
Pommes	10-20	Sources des données : Zenafi, 2016 ⁴⁷ , Monney, 2022
Fraises	4-15	Lozano, 2016 ⁴⁸
Oignons	6-15	Wakchaure, 2018 ⁴⁹

Tableau 40 Valeurs indicatives pour la productivité de l'eau dans différentes cultures.

⁴⁵ Harris PM, 1978. The Potato Crop: the Scientific Basis for Improvement. Chapman and Hall, London.

Carr MKV, 1983. Identifying the need for irrigation.

Ahmadi SH, Andersen MN, Plauborg F, Poulsen RT, Jensen CR, Sepaskhah AR, Hansen S, 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. Agricultural Water Management, 97 (11), 1923-1930.

⁴⁶ Lu, Y., Yang, X., & Kueppers, L. (2018). Future crop yields and water productivity changes for Nebraska rainfed and irrigated crops. Water International, 43(6), 785-795.

Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural water management, 69(2), 115-133.

⁴⁷ Chenafi, A., Monney, P., Arrigoni, E., Boudoukha, A., & Carlen, C. (2016). Influence of irrigation strategies on productivity, fruit quality and soil-plant water status of subsurface drip-irrigated apple trees. Fruits, 71(2), 69-78.

⁴⁸ Lozano, D., Ruiz, N., & Gavilán, P. (2016). Consumptive water use and irrigation performance of strawberries. Agricultural water management, 169, 44-51.

⁴⁹ Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Meena, K. K., Singh, N. P., Hegade, P. M., & Sorty, A. M. (2018). Growth, bulb yield, water productivity and quality of onion (*Allium cepa* L.) Agricultural Water Management, 199, 1-10.

A7 Coûts et rentabilité (chapitre 7)

A7.1 Données empiriques pour les coûts d'investissement

Le tableau ci-après permet de réaliser une première estimation sommaire des coûts d'investissement au stade de l'**initialisation**. Ces données ne sont toutefois pas appropriées pour réaliser les estimations de coûts aux stades de l'**étude préliminaire** ou de l'**étude de projet**. Il faut pour cela faire appel à un bureau d'ingénieurs.

	Jusqu'à CHF 5 000 par hectare	CHF 5 000-15 000 par hectare	Plus de CHF 15 000 par hectare
Taille du projet	petite	moyenne	grande
Synergies avec une infrastructure existante	élevées	faibles	aucune
Traitements de l'eau (p. ex. sédimentation / filtration)	non	non	oui
Conditions de construction	favorables (plat, sans obstacles)	moyennes	défavorables (alpin, obstacles divers)
Distance à la source d'approvisionnement en eau	courte	moyenne	grande
Ramification de la zone de couverture	faible	moyenne	forte

Tableau 41 Valeurs approximatives des coûts d'investissement pour la fourniture et l'amenée d'eau (sans la distribution) avec les principaux facteurs d'influence (précision inférieure à $\pm 30\%$, base de prix 2020), basées sur des estimations d'experts et des données tirées de documents de référence⁵⁰

Les données suivantes peuvent être mises à profit pour obtenir une estimation des coûts plus détaillée au niveau l'**initialisation**.

Catégorie	Installation	Base de calcul de l'investissement (précision inférieure à $\pm 30\%$)
Fourniture de l'eau	Pompage des eaux de surface	Env. CHF 30 000 (installation de pompage mobile, y compris générateur diesel pour 9 ha) ⁵¹
	Puits d'eau souterraine	Env. CHF 20 000 (puits sans pompe, Ø 6 pouces, 16 m de profondeur) ⁵¹ Autres : fiche technique DWA-M 590 (plus supplément de prix CH)
	Captage de la source	Fortement dépendant du projet
	Réservoir d'eau	Env. 50-500 CHF/m ³ (bassin enterré, bassin sur bâche)
	Traitements de l'eau	Si nécessaire ; coûts dépendant fortement du projet

50 HAFL et al. (éd.) 2023 : Base de données et future collecte de données sur l'irrigation agricole en Suisse, Projet « Swiss Irrigation Info » : rapport final du module 1. Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL, Zollikofen (<https://bewaesserungsnetz.ch/blog>)

51 Cartes de disponibilité de l'eau pour le bassin versant de l'Oesch, canton SO, coûts de l'infrastructure d'irrigation, base de prix 2020

Catégorie	Installation	Base de calcul de l'investissement (précision inférieure à $\pm 30\%$)
Conduite d'eau	Conduites au sol	Env. CHF 100-200 par mètre courant (DN110-DN250, PE, enterré à env. 1,5 m de profondeur, surface non revêtue) Fiche technique DWA-M 590 (plus supplément de prix CH)
	Hydrantes	Env. CHF 100-600 (tête d'hydrante, fonte avec bride) Cf. listes de prix des fabricants
Distribution de l'eau	Conduites d'aménée	Conduites enterrées : analogues aux conduites au sol (cf. ci-dessus) Conduites mobiles / tuyaux flexibles selon les coûts de matériel : < CHF 100 par mètre courant (coûts d'investissement bas, travail important pour la pose) Cf. listes de prix des fabricants, cf. prix pour les cultures fruitières ⁵²
	Enrouleur avec canon	Env. CHF 25 000-40 000 y compris 350 m-450 m de tuyaux ⁵³ Cf. listes de prix des fabricants
	Enrouleur avec chariot porte-buses	Env. CHF 45 000 y compris 350 m de tuyaux, chariot porte-buses de 40 m de large ⁵⁴ Cf. listes de prix des fabricants ⁵⁴
	Sprinklers	Env. CHF 13 500-15 500 par ha (micro-asperseurs) ⁵³ Env. CHF 5 000-8 000 (asperseurs en ligne : 6 m, 600 m, 37 asperseurs) ⁵⁴ Cf. listes de prix des fabricants, cf. prix pour les cultures fruitières ⁵²
Équipement	Micro-asperseur	Env. CHF 10 000-12 000 par ha Cf. outil Excel Centre Liebegg ⁵³ , cf. prix pour les cultures fruitières ⁵²
	Irrigation goutte à goutte	Env. CHF 11 500-14 000 par ha ⁵³ Env. CHF 4 000-6 000 par ha ⁵³ Autres : fiche technique DWA-M 590 (plus supplément de prix CH), cf. prix pour les cultures fruitières ⁵² Proportions des coûts avec filtration (prétraitement des matières en suspension) : 25 % filtration, 10 % conduite de distribution, 65 % irrigation goutte à goutte, selon www.ccdsa.ch
	Pompes immergées	Env. CHF 1 000 (1 kW) - CHF 12 000 (22kW) Cf. listes de prix des fabricants de pompes
Équipement	Groupes de surpression	Env. CHF 5 000-80 000 par pompe (selon la puissance) Cf. listes de prix des fabricants
	Débitmètre	Mécanique : env. CHF 40 (2,5 m ³ /h, $\frac{3}{4}$ pouces) À ultrasons : env. CHF 700 (6 m ³ /h) - CHF 3 200 (100 m ³ /h) Magnéto-inductif : env. CHF 7 000 (360 m ³ /h)
	Dispositif électrique, dispositif de commande, dispositif de régulation, dispositif de contrôle	5 % – 15 % des coûts totaux d'investissement Fortement dépendant du projet, la desserte en électricité en particulier a un poids important pour les grandes distances

52 [Bewässerung von Obstbäumen](http://www.agroscope.ch/irrigation/irrigation-de-cultures/irrigation-de-cultures-fruits-et-legumes/bewaesserung-von-obstbaumen), 2011. Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW

53 [https://www.liebegg.ch/de/faq-bewaesserung.html](http://www.liebegg.ch/de/faq-bewaesserung.html), base de prix peu claire

54 [Brochure d'Inforama](http://www.gvbf.ch/produzenten), 2016 (cf. [https://gvbf.ch/produzenten](http://www.gvbf.ch/produzenten))

Tableau 42 Fourchettes de coûts d'investissement moyens (précision inférieure à $\pm 30\%$; base de prix 2020 ou selon indication de la source)

Le centre Liebegg met également à disposition un outil de calcul Excel pour estimer les coûts d'investissement et les coûts annuels de l'irrigation goutte à goutte ou au moyen de micro-asperseurs pour les fruits à noyau et les fruits à pépins (question posée dans [FAQ](#) : « Wie hoch sind die Anschaffungskosten für eine Bewässerungsinfrastruktur ? »)

A7.2 Aides pour le calcul des coûts annuels

Coûts du capital

Les coûts du capital sont calculés comme suit :

$$\text{Coûts du capital} = \frac{\text{Coûts d'investissement}}{\text{Durée d'utilisation}} + \text{Coûts d'intérêts}$$

Pour le calcul des coûts d'amortissement, il est recommandé de procéder à un amortissement linéaire des coûts d'investissement sur la durée d'utilisation de l'infrastructure. Les durées d'utilisation possibles sont présentées dans le Tableau 43 et un exemple de calcul est redonné dans le Tableau 44 :

Infrastructure	Durée d'utilisation
Captages	
Eaux souterraines	Trou de forage : 60 ans Pompes : cf. « Équipement »
Eaux de surface	Élément de construction du captage d'eau : 50 ans Élément mobile : voir « Équipement »
Captage de la source	Élément de construction du captage d'eau : 50 ans
Conduites	
Conduites enterrées	60 ans
Conduites de surface	Fixe : 15 ans Tuyaux : 3-10 ans
Réservoir d'eau	
Béton armé	50 ans
Bassin enterré, bassin sur bâche	15 ans
Équipement	
Machines (pompes, générateurs, etc.)	15 ans
Équipements électrique et dispositifs de mesure	10 ans
Systèmes de distribution	
Asperseurs en ligne alu	15 ans
Asperseurs en ligne PE	12 ans
Enrouleur avec canon	12 ans
Enrouleur avec chariot porte-buses	12 ans
Irrigation goutte à goutte	10 ans

Tableau 43 Durées d'utilisation des infrastructures d'irrigation

Formule	Exemple chiffré
$\frac{I - S}{U} = \text{coûts d'amortissement}$	$\frac{\text{CHF } 300'000 - \text{CHF } 150'000}{15 \text{ ans}} = 10'000 \text{ CHF par an}$
— Investissement (I) en CHF	— I = CHF 300 000
— Subvention (S) en CHF	— S = CHF 150 000
— Durée d'utilisation (U) en années	— U = 15 ans

Tableau 44 Calcul des coûts d'amortissement avec exemple chiffré

Pour le taux d'intérêt, une hypothèse calculée sur la base des valeurs actuelles du marché pour les crédits ou les prêts suffit (p. ex. 2 %).

Formule	Exemple chiffré
$\frac{I - S}{2} \times i = \text{coûts moyen d'intérêts}$	$\frac{\text{CHF } 300'000 - \text{CHF } 150'000}{2} \times 2\% = 1'500 \text{ CHF par an}$
— Investissement (I) en CHF	— I = CHF 300 000
— Subvention (S) en CHF	— S = CHF 150 000
— Taux d'intérêt (i) en %.	— i = 2 %

Tableau 45 Calcul des coûts d'intérêts, exemple chiffré compris

Une [brochure de la CCM](#) consacrée à l'irrigation dans la culture maraîchère de plein champ montre les coûts du capital, les coûts de fonctionnement et les coûts annuels pour différentes méthodes d'irrigation. Les planificateurs d'un réseau d'irrigation peuvent l'utiliser, selon la situation, pour vérifier la plausibilité de leurs propres calculs.

Coûts de fonctionnement

Les coûts de fonctionnement dépendent d'un grand nombre de facteurs, par exemple :

- Coûts de l'énergie (électricité, diesel, etc.)
- Coûts de personnel
- Coûts de machines
- Coûts de matériel (réparation, entretien)
- Assurances
- Coûts pour l'achat de l'eau : eaux souterraines, eaux de surface, eau potable.

Les exploitations doivent pour cela se baser sur des informations actuelles et des informations prévisionnelles sur les prix (p. ex. électricité), des informations disponibles publiquement ([Catalogue des coûts d'Agroscope](#)), leurs propres valeurs empiriques (frais de personnel, de machines, d'assurance) ou des règlements sur les taxes pour l'achat d'eau (exemple du canton de SO concernant les prix des eaux souterraines et des eaux de surface : [bgs.so.ch](#)).

Une [brochure de la CCM](#) sur les coûts des procédures d'irrigation ([www.szg.ch](#)) dans la culture maraîchère de plein champ montre les coûts du capital, les coûts d'exploitation et les coûts annuels pour différentes méthodes d'irrigation ; Les planificateurs d'un réseau d'irrigation peuvent l'utiliser, selon la situation, pour vérifier la plausibilité de leurs propres calculs.

A7.3 Aide pour le calcul de la valeur économique de l'irrigation

La valeur économique de l'irrigation est influencée par les facteurs suivants :

- Recettes assurées : sans irrigation, les quantités produites diminuent. L'irrigation réduit le risque de perte de récolte.
- Maintien de la qualité / du prix : l'irrigation permet de maintenir la qualité, ce qui réduit le risque de réductions de prix.
- Disponibilité : l'irrigation permet de mieux planifier les récoltes et de réduire le risque de ne pas pouvoir respecter les délais de livraison.
- Sécurité des débouchés : prévenir la perte de débouchés ou de possibilités de livraison après une perte de rendement importante due à un manque d'irrigation.
- Augmentation des cultures à forte valeur ajoutée.

Si la rentabilité doit également être calculée pour différents scénarios (p. ex. à l'avenir ou pour certaines années de sécheresse), les questions ci-après peuvent permettre d'obtenir des données servant à l'estimation de la plus-value économique :

- Existe-t-il des valeurs empiriques provenant d'une très bonne année (en termes de précipitations) qui pourraient être utilisées pour estimer l'augmentation de la production ? Peut-on s'attendre à ce que celle-ci soit partiellement ou totalement réalisable grâce à l'irrigation ? Si oui, de quel pourcentage ?
- Existe-t-il des valeurs empiriques d'une très mauvaise année (en termes de précipitations) qui pourraient être utilisées pour estimer les pertes (pertes de récoltes, pertes de qualité, non-respect des délais de livraison) ? Peut-on s'attendre à ce que ces pertes soient partiellement ou totalement réduites grâce à l'irrigation ? Si oui, quel est le pourcentage estimé ?
- Y a-t-il des exploitations qui ont déjà de l'expérience avec des cultures semblables ou des conditions locales similaires et qui pourraient la partager ? Si oui, de quel pourcentage le rendement pourrait-il être augmenté ou les pertes réduites ?
- Existe-t-il des résultats de recherche qui quantifient le rendement supplémentaire ou le risque de pertes de récolte pour certains sols, conditions climatiques ou cultures ? Ces résultats sont-ils transposables aux conditions locales ? Si oui, de quel pourcentage la production pourrait-elle être augmentée ou les pertes réduites ?
- Quels sont les prix du marché escomptés, par exemple en raison de la qualité ou de l'évolution à venir du marché ? Une tendance à la hausse ou à la baisse des prix du marché ou des recettes est-elle prévisible avec suffisamment de certitude pour qu'elle doive être prise en considération dans le calcul de rentabilité ?

A8 Valeurs de référence pour calculer les besoins en eau d'irrigation

En Suisse, il n'existe actuellement aucune valeur de référence généralement admise pour calculer les besoins en eau des cultures pour lesquelles la pratique de l'irrigation serait viable. C'est pourquoi nous recommandons de définir ces valeurs de référence **dans un projet à la suite de ce guide**. Le Tableau 46 présente les valeurs auxquelles il pourrait être possible de se référer dans différentes catégories, de telle sorte que les recommandations du présent guide puissent être suivies. Les valeurs à définir dans une première phrase, pour les catégories prioritaires, y figurent en gras.

Nous considérons qu'un tel projet devrait être conçu d'après les règles suivantes :

- Les valeurs de référence modélisées devraient être discutées, puis validées par un groupe de travail caractérisé par une vaste réunion de compétences (responsables d'exploitation dans divers groupes de cultures, professionnels de la vulgarisation, fournisseurs de dispositifs d'irrigation, chercheurs et bureaux d'ingénieurs experts en modélisation).
- Ces valeurs devront être périodiquement revues, par exemple lorsque les scénarios climatiques sont modifiés ou à la fin de la période de référence.
- Le modèle de définition des futures valeurs de référence, de même que les principaux paramètres du modèle, devront être décrits dans une documentation, afin que ces éléments puissent être modifiés si nécessaire, suivant les caractéristiques du projet concerné.

Facteur	Nombre	Catégories
Stations météorologiques	31	Stations CH2018 ⁵⁵ avec tous les paramètres de calcul de l'évapotranspiration dans les régions où l'on pratique l'irrigation
Horizon temporel	2	Année normale (1991-2020), avenir (2045-2075)
Scénarios	4	Actuel, année normale (1991-2020, moyenne), Actuel, année de sécheresse (1991-2020, 5 ^e année la plus sèche, ou 80 % de certitude), Année normale 2060 (2045-2075, RCP 8.5), Année de sécheresse 2060 (2045-2075, RCP 8.5, 5 ^e année la plus sèche, ou 80 % de certitude)
Textures du sol ⁵⁶	14	Sable, sable silteux, sable limoneux, limon sableux , limon , limon argileux , argile limoneuse, argile, silt argileux, silt limoneux, silt sableux, silt, sol organique
Épaisseur de la couche utilisable par les plantes (PNG)	2	60 cm, 110 cm
Cultures	24	Salades , poireau, oignon , courgette , carotte , fenouil , céleri , chou-pomme , betterave, chou-fleur , choux pomme (y compris chou frisé), chou chinois, chou frisé non pomme, chou de Bruxelles, épinard, haricots, pois, fines herbes, endive, bette à côte

⁵⁵ CH2018 (2018), CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, ISBN: 978-3-9525031-4-0.

⁵⁶ Brunner J, Jäggli F, Nievergelt J, Peyer K, 1997. Kartieranleitung. Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Station de recherches en agroécologie et agriculture, Zürich-Reckenholz (FAL), Zurich Reckenholz, 175 p.

Facteur	Nombre Catégories
	Pomme, cerise, quetsche (pruneau), fraise , petits fruits arbustifs, vigne
	Pomme de terre, maïs grain , betterave sucrière, tabac
	Prairie de fauche
Périodes	3
	Année, mois, tiers de mois (pour le dimensionnement)

Tableau 46 Facteurs, nombre de catégories et catégories proposées qui serviront à définir les valeurs de référence des besoins en eau d'irrigation. Les catégories prioritaires sont mentionnées en gras.