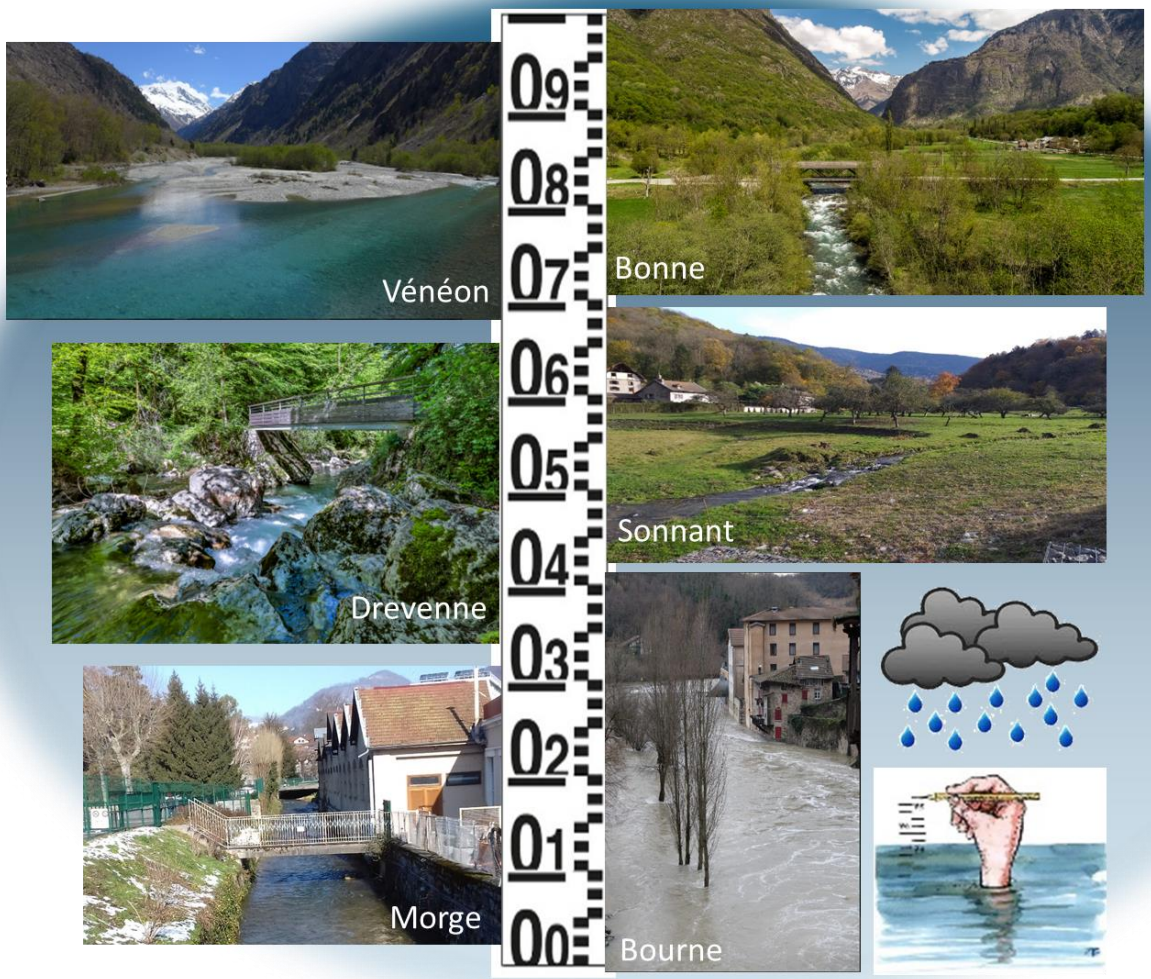


Etude de faisabilité pour la mise en place de dispositifs locaux de surveillance et d'avertissement des inondations et ressource en eau sur le territoire du SYMBHI

PHASE 2 – PROPOSITION DE SCENARIOS DE RENFORCEMENT DES DISPOSITIFS DE SURVEILLANCE ET D'AVERTISSEMENT AUX CRUES ET DE SUIVI DE LA RESSOURCE EN EAU

Ref SYMBHI – 2023-019

SYMBHI Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère

ARTELIA

ARTELIA / MAI 2025 / 877 7755

Etude de faisabilité pour la mise en place de dispositifs locaux de surveillance et d'avertissement des inondations et ressource en eau sur le territoire du SYMBHI

SYMBHI

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
3	Synthèse des versions v3 des annexes UTs + Annexe 8 dispositifs existants	ACL/SDS	AMN	Mai 2025
2.3	Version amendée suite aux retours du SYMBHI du 14/02	ACL/SDS	AMN	Mars 2025
2	Version amendée suite aux retours du SYMBHI du 27 /01	ACL/SDS	AMN	Février 2025
1	Version hors synthèse fournie en décembre 2024	ACL/SDS	AMN	Décembre 2024
0	Rapport Phase2 v0	ACL	AMN	Novembre 2024

ARTELIA / EAMO / ECD
6 rue de Lorraine 38130 ECHIROLLES – TEL : 04 76 33 40 00

SOMMAIRE

A. OBJET DU DOCUMENT 5

B. LA MÉTHODE 6

1. RAPPEL DES RESULTATS PHASE 1 6

2. VISITES TERRAIN 8

2.1. ETAT DE L'ART : CRITÈRES DE CHOIX D'UN SITE 8

2.2. DÉFINITIONS 8

2.3. COMMENTAIRES SUR LA MÉTHODE ADOPTÉE 9

3. VERIFICATION DES DELAIS D'ANTICIPATION POSSIBLES 9

4. UTILISATION DES LAMES D'EAU RADAR METEO FRANCE 10

5. LES SCENARIOS DEFINIS EN CONCERTATION AVEC LE SYMBHI 12

C. LES PROPOSITIONS 13

6. LES TYPOLOGIES DE STATIONS ET EQUIPEMENTS PROPOSES 13

7. LES RESEAUX PROPOSES PAR UT ET PAR SCENARIO 19

8. LA DEFINITION DES COUTS D'INVESTISSEMENT 19

8.1. LES STATIONS 19

8.2. ANTICIPATION ET PRÉVISION (SCÉNARIO 3) 24

8.3. SUPERVISION 26

9. LA DEFINITION DES COUTS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE .. 28

D. LES RÉSULTATS DES ESTIMATIONS FINANCIÈRES 30

10. LES COUTS D'INVESTISSEMENT D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE PAR SCENARIO 31

11. CONCLUSION 35

ANNEXE 1 : NOTE MÉTHODOLOGIQUE VÉRIFICATION DE CERTAINS DÉLAIS D'ANTICIPATION 36

ANNEXE 2 : SCENARIOS - UT GRÉSIVAUDAN 36

ANNEXE 3 : SCENARIOS - UT DRAC 36

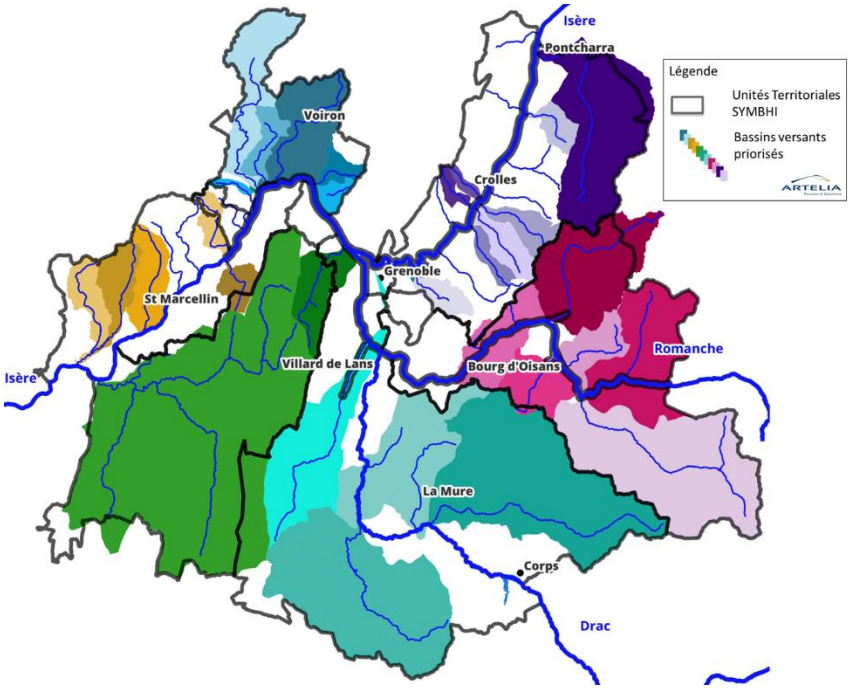
ANNEXE 4 : SCENARIOS - UT SUD GRÉSIVAUDAN..... 36

ANNEXE 5 : SCENARIOS - UT VOIRON 36

ANNEXE 6 : SCENARIOS - UT VERCORS..... 36

ANNEXE 7 : SCENARIOS - UT ROMANCHE 36

ANNEXE 8 : DISPOSITIFS EXISTANTS À INTÉGRER DANS UN RÉSEAU SYMBHI..... 36



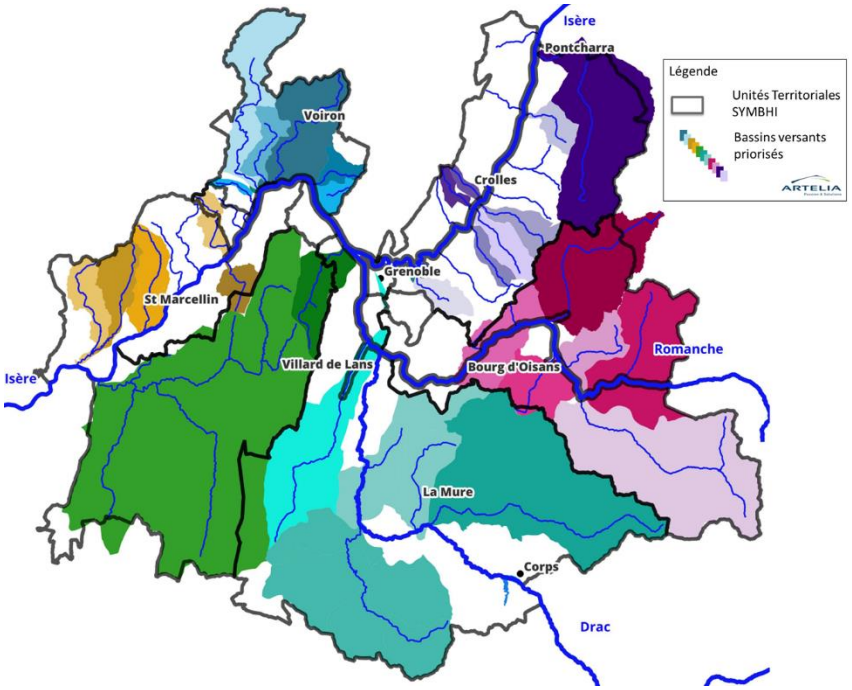
A. OBJET DU DOCUMENT

Dans le cadre de la phase 1 de l'étude, une priorisation des besoins de suivis a été réalisée et concertée avec les UT. Les besoins ont été confrontés aux dispositifs existants actuellement chez différents opérateurs. Les lacunes d'instrumentation ont été pointées.

Le présent document présente en synthèse les résultats des investigations par UT s'agissant du renforcement des dispositifs de surveillance des cours d'eau, organisés et chiffrés selon différents scénarios.

Les résultats détaillés par UT sont fournis en annexes.

La définition des scénarios retenus en concertation avec le SYMBHI est expliquée. Les typologies d'équipement proposés sont définies pour chaque scénario. Les coûts d'investissement et d'exploitation sont estimés.



B. LA METHODE

1. RAPPEL DES RESULTATS PHASE 1

La synthèse des dispositifs proposés en réponse à l'ensemble des besoins priorisés à l'échelle du SYMBHI fait ressortir l'importance des besoins de suivis soit 203 dispositifs en totalité. La très grande majorité des dispositifs (108) est en réponse aux besoins de la priorité 1 (surveillance d'ouvrages classés ou autres).

Les dispositifs existants sont par ailleurs nombreux à pouvoir répondre aux besoins exprimés, soit 94 dispositifs au total (limni ou pluvio). Le détail est fourni en annexe 8 du présent document.

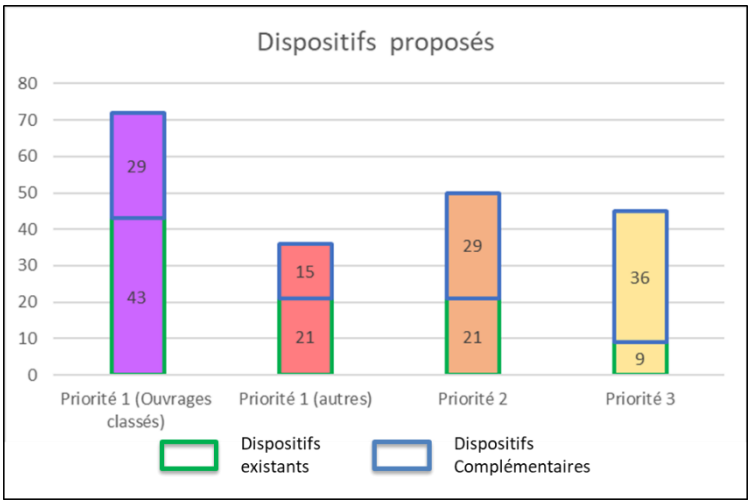


Figure 1 : Répartition des dispositifs proposés dans les différentes priorités

Les besoins restant à couvrir par des dispositifs complémentaires à installer par le SYMBHI sont importants pour l'ensemble des priorités :

Au total 109 dispositifs dont

- 29 en priorité 1 pour la surveillance d'ouvrages classés,
- 15 en priorité 1 pour la surveillance d'ouvrages non classes,
- 29 en priorité 2
- 36 en priorité 3

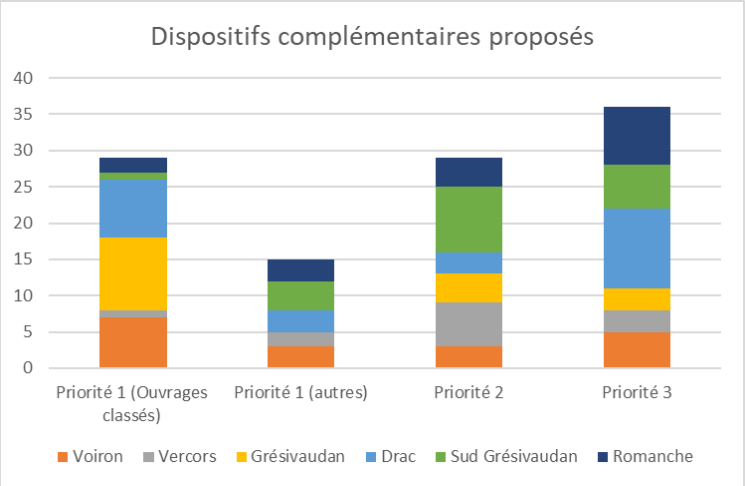


Figure 2 : Répartition des dispositifs complémentaires proposés dans les différentes priorités et pour chaque UT

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des propositions de suivi à l'échelle du SYMBHI.

Tableau 1 : Synthèse des dispositifs proposés à l'échelle du SYMBHI

Priorité / **Type de dispositif**	Priorité 1 (Ouvrages classés)	Priorité 1 (Ouvrages + autres)	Priorité 1 + Priorité 2	Priorité 1 + Priorité 2 + Priorité 3	**Total toutes priorités**
Dispositifs existants (limni, pluvio) - hors echelles	**43**	**64**	**85**	**94**	**94**
Voiron	2	3	3	4	4
Vercors	5	10	21	23	23
Grésivaudan	13	13	14	16	16
Drac	7	10	15	15	15
Sud Grésivaudan	0	7	7	10	10
Romanche	16	21	25	26	26
Dispositifs complémentaires proposés (limni , pluvio) - hors echelles	**29**	**44**	**73**	**109**	**109**
Voiron	7	10	13	18	18
Vercors	1	3	9	12	12
Grésivaudan	10	10	14	17	17
Drac	8	11	14	25	25
Sud Grésivaudan	1	5	14	20	20
Romanche	2	5	9	17	17
Total	**72**	**108**	**158**	**203**	**203**

2. VISITES TERRAIN

2.1. ETAT DE L'ART : CRITERES DE CHOIX D'UN SITE

> Extrait Charte de l'hydrométrie – SCHAPI – 2017
>
> *Le site parfait n'existe pas. Le choix du site résulte toujours d'un compromis entre les objectifs de la station, les conditions hydrauliques de l'écoulement, la faisabilité technique et des aspects tels que les conditions d'accès au site, la facilité d'intervention en toutes circonstances pour la maintenance et les jaugeages. Si les performances des différents capteurs et les moyens de transmission des données permettent de réduire les limites de la faisabilité technique, les conditions d'accès au site sont particulièrement importantes pour que les interventions des agents se fassent en toute sécurité. Il est important d'investir suffisamment dès le départ pour avoir de bonnes conditions de mesure et de confort/sécurité pour les techniciens qui interviennent sur site.*

Les critères de choix d'un site hydrométrique sont, selon l'état de l'art, les suivants :

- **Objectifs de la station** : Définir clairement les objectifs de la station, comme la mesure des hauteurs d'eau, des débits, ou la surveillance des crues, des étiages (ou les 2 …).
- **Conditions hydrauliques** : Choisir un site avec des conditions hydrauliques stables et représentatives du cours d'eau :
  - Evaluation de la stabilité de la section surveillée en crue comme à l'étiage ;
  - Evaluation pertinence de la mesure : section de cours d'eau la moins influencée possible par des apports latéraux (canaux), prélèvements ou rejets,
  - Evaluation de la pertinence de l'emplacement : section représentative de la mesure recherchée et pour le but principal
  - Section facile à jauger, pour établir la loi de tarage ;
- **Accessibilité :** Le site doit être facilement accessible pour l'installation, l'entretien et la collecte des données.
- **Sécurité :** Assurer la sécurité du site contre les inondations, le vandalisme et les conditions météorologiques extrêmes.
- **Équipements :** Sélectionner les équipements adaptés, comme les échelles limnimétriques, les capteurs de pression, les capteurs radar ou à ultrasons.
- **Budget :** Prendre en compte les coûts d'installation, de maintenance et de fonctionnement de la station.

2.2. DEFINITIONS

SECTION HYDRAULIQUE STABLE

- La section du cours d'eau n'est pas sujette à évolutions majeures du lit ;
- La section comporte des points de contrôle des écoulements invariants (pont, berges, radier, seuil …) ;
- Les écoulements sont répartis uniformément sur la section (pas de coude brusque, d'obstacles au droit ou proches de la section à instrumenter, pas d'influence d'un affluent ou d'une défluence, …) ;
- La section intègre tous les écoulements (pas de dérivation active) ;

- La section mouillée n'est pas ou peu susceptible de changer (par exemple lits en tresse…).

SENSIBILITE DE LA MESURE DE HAUTEUR

- Un lit très large implique une sensibilité très forte de la transformation Hauteur débit car une faible variation de la hauteur entraine une forte augmentation du débit.

2.3. COMMENTAIRES SUR LA METHODE ADOPTEE

Dans le contexte de la présente étude, sur le territoire du SYMBHI, sur le terrain, différentes méthodes d'appréciation de la pertinence d'une section hydraulique sont à mobiliser en fonction de l'objectif premier de la mesure :

- Objectif connaissance hydrologique générale (crue et étiage) : une section hydraulique stable avec une sensibilité faible est à rechercher pour permettre une relation hauteur /débit ou vitesse/ débit stable et pérenne.
- Objectif étiage : section étroite si possible contrôlée par un seuil naturel ou existant, relation hauteur/débit stable.
- Objectif anticipation des crues et débordements : les critères d'une section hydraulique stable avec sensibilité faible sont à rechercher autant que possible sur la section d'écoulement. La transformation hauteur/débit peut très bien ne pas être faisable et l'anticipation s'effectuer sur des mesures de hauteur d'eau. Si la mesure ne peut être faite à l'amont des zones d'enjeu inondation du fait de conditions non favorables ou d'anticipation très faible, la mesure peut aussi être réalisée au droit des enjeux, ce qui a l'avantage de suivre les écoulements et les éventuels débordements.

A noter : En régime torrentiel, l'implantation d'une station hydrométrique n'est pas d'ordinaire conseillée, ce qui n'empêche pas de suivre certaines variables représentatives des écoulements comme la hauteur d'eau en particulier. La transformation hauteur débit ne sera pas toujours faisable et restera entachée d'erreurs (difficulté d'obtention d'une courbe de tarage du fait d'une section très instable, augmentation des hauteurs d'eau du fait d'un charriage important …). Par contre, les mesures réalisées en continu apportent des informations très importantes pour la gestion de crise et les retours d'expérience post-crue (suivis des ouvrages en particulier).

Selon la méthodologie de l'étude, chaque tronçon priorisé lors de la phase 1 de l'étude a fait l'objet d'investigations terrains dès lors qu'aucun dispositif existant ne pouvait répondre aux besoins préalablement définis par le SYMBHI. Etant donnés les nombres très importants de tronçons priorisés, il a été décidé en concertation avec le SYMBHI de se concentrer sur les tronçons non couverts par un dispositif existant répondant au besoin et susceptibles d'être inclus dans les scénarios d'instrumentation complémentaire à étudier. Suite à la réunion du 5 juin, les tronçons classés en priorité 3 se seront pas étudiés précisément et ne font pas partie des tronçons visités. Pour ces tronçons il est à noter que le travail préalable de pré-sélection de sites potentiels a été réalisé et qu'il est fourni au SYMBHI sous la forme d'une couche SIG spécifique. Pour les tronçons classés en priorité 2, suite à la réunion du 2 octobre 2024, le SYMBHI ne souhaite pas investiguer dans les scénarios les priorités 2, les tronçons classés en priorité 2 ne feront donc pas l'objet de fiche visite sauf exception liée à une possibilité d'anticipation amont vis-à-vis d'un tronçon classé en priorité 1.

3. VERIFICATION DES DELAIS D'ANTICIPATION POSSIBLES

Afin de s'assurer de l'intérêt d'une station hydrométrique pour répondre à l'enjeu d'avertissement aux crues, le paramètre important est celui des temps de réaction et de concentration des écoulements à l'amont des principales zones à enjeux. En cas d'un délai court, l'installation d'une station peut ne pas être pertinente du fait d'un temps trop limité pour avertir les collectivités/ ou alerte par le Maire-Préfet.

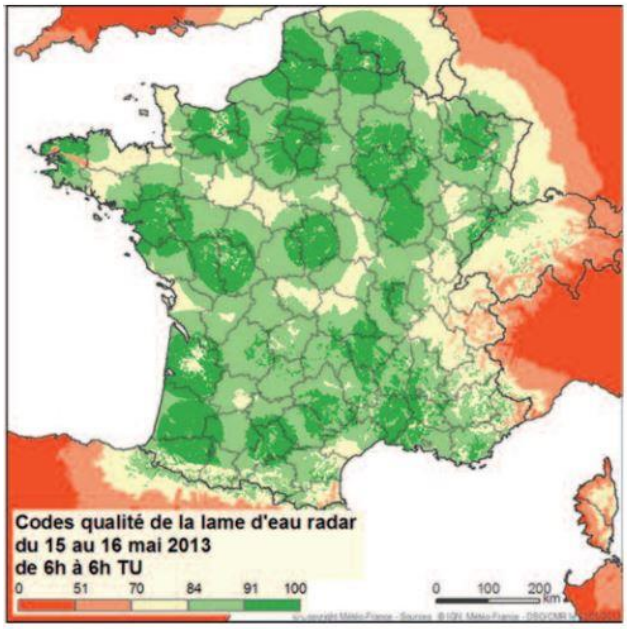
Les délais d'anticipation possibles ont été vérifiés à l'aide de différentes méthodes hydrologiques. Les temps de concentration et temps de montée ont été estimés pour un grand nombre de points ciblés pour une instrumentation

complémentaire. La méthode adoptée ainsi que les résultats sont présentés en annexe 1 du présent rapport. Les résultats sont aussi repris en synthèse dans chaque annexe spécifique UT.

4. UTILISATION DES LAMES D'EAU RADAR METEO FRANCE

Météo France a fourni une couche SIG de la qualité des lames d'eau radar Antilope entre janvier et septembre 2024, sur une grille de 1km (taille des pixels 1 km^2).

Les données du réseau radars sont agrégées pour fournir une mosaïque. Cette technique permet d'améliorer la qualité des mesures notamment dans les zones en limite de portée des radars et permet aussi d'obtenir des images en cas de dysfonctionnement d'un radar (les portées des radars se superposant). Cette mosaïque est aussi indispensable pour convertir le signal radar brut (réflectivité) en lame d'eau à l'aide d'algorithmes complexes (en prenant en compte notamment plusieurs angles de visée). A partir de ces traitements, une lame d'eau est obtenue. Elle est nommée lame d'eau "Serval". A partir de cette lame d'eau Serval, un autre traitement permet de fusionner la lame d'eau radar avec les pluviomètres. Cette technique est particulièrement efficace pour améliorer la qualité de la lame d'eau dans les zones mal couvertes par les radars comme les régions montagneuses où les masques sont nombreux. La lame d'eau Antilope est l'un des produits mis à disposition par Météo-France aux collectivités gémapiennes au travers d'un extranet.



Chaque lame d'eau produite toutes les 5 minutes est accompagnée d'une carte de facteurs qualité. Les codes de qualité, qui varient de 0 (très mauvaise mesure) à 100 (excellente mesure), traduisent une partie des conditions de mesure : taux de masquage, altitude de la mesure… (voir Tabary, 2007). Ces codes de qualité sont dynamiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent évoluer dans le temps en fonction des conditions de mesure (radars en panne, altitude effective des mesures…). Tabary et al. (2007) ont par ailleurs vérifié que les codes qualité expliquaient en moyenne relativement bien les erreurs des lames d'eau radar par rapport aux pluviomètres. (source Météo France 2013).

Figure 3 : Exemple d'une carte qualité radar sur un épisode pluvieux.

La couche 2024 fournie par Météo France est présentée sur la carte suivante.

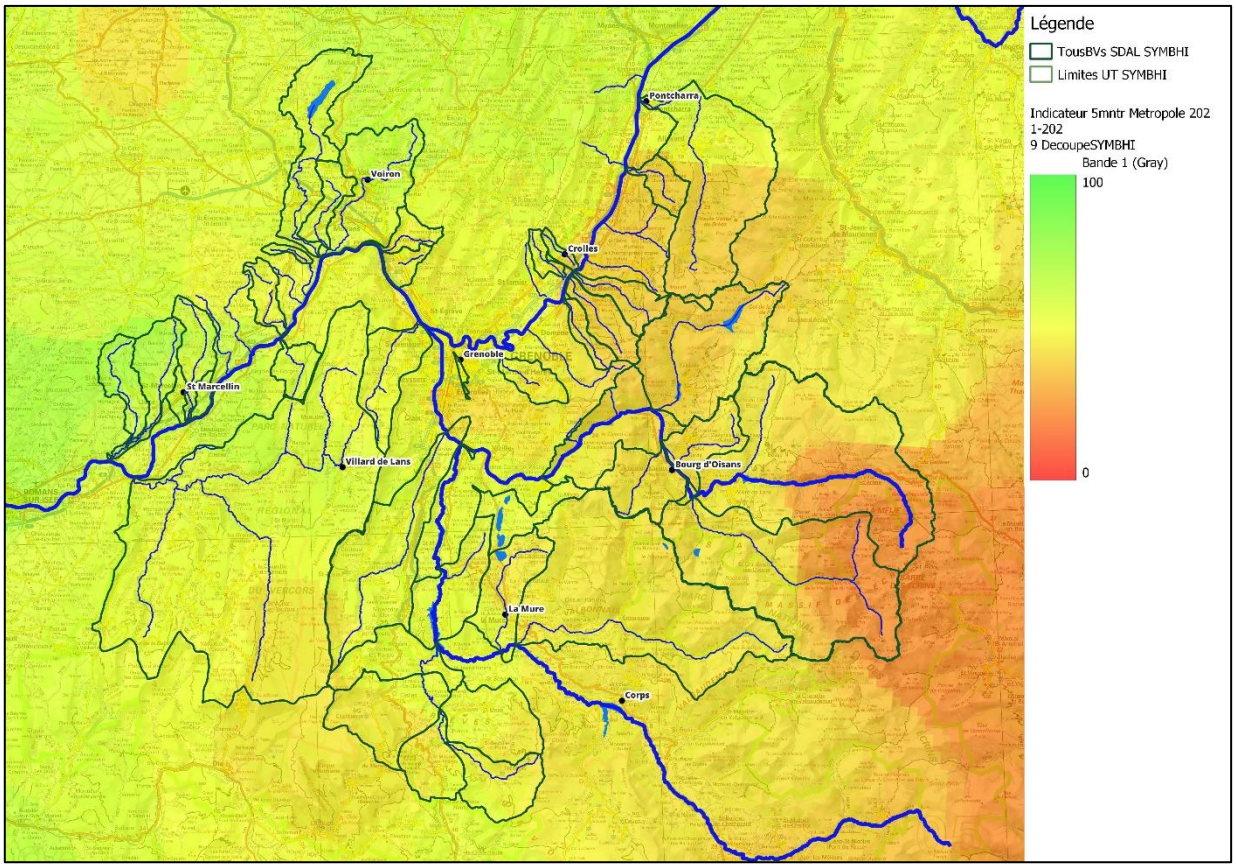


Figure 4 : Carte de qualité de la lame d'eau Antilope Météo France Janvier – Septembre 2024 (source Météo- France)

Dans les annexes relatives à chaque UT, la qualité de cette lame d'eau est vérifiée pour les sous-bassins à cinétique très rapide afin de vérifier son utilisation possible en prévision.

Etant donnée la qualité dégradée de la lame d'eau Antilope dans les zones montagneuses, la classification Météo France ci-dessus est adaptée au territoire du SYMBHI de la manière suivante.

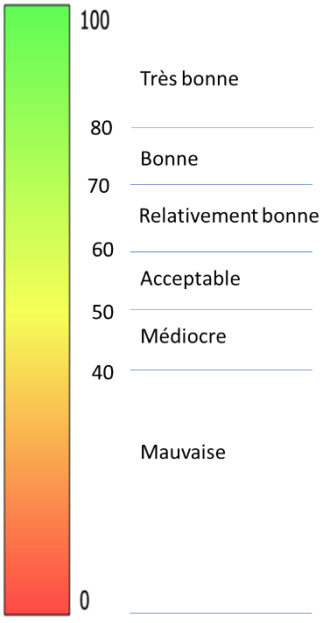


Figure 5 : Appréciation de la qualité de la lame d'eau Antilope sur le territoire du SYMBHI

5. LES SCENARIOS DEFINIS EN CONCERTATION AVEC LE SYMBHI

Le scénario 1 intègre les besoins définis en priorité 1 vis-à-vis des ouvrages classés ou en cours de classement.

Les équipements proposés dans ce scénario 1 sont relatifs à des stations patrimoniales pérennes dites « Stations patrimoniales complètes » dans la suite du présent document. Elles intègrent de manière générale une sonde de niveau (immergée ou radar), un coffret intégrant tous les équipements électroniques d'acquisition, de transmission et de gestion de l'énergie. Une caméra de levée de doute vise l'échelle limnimétrique de la station. Les transmissions sont réalisées par GSM/GPRS et doublées par radio. Tant que possible, une alimentation de secours est prévue (sur éclairage public ou via convention bâtiment public à proximité).

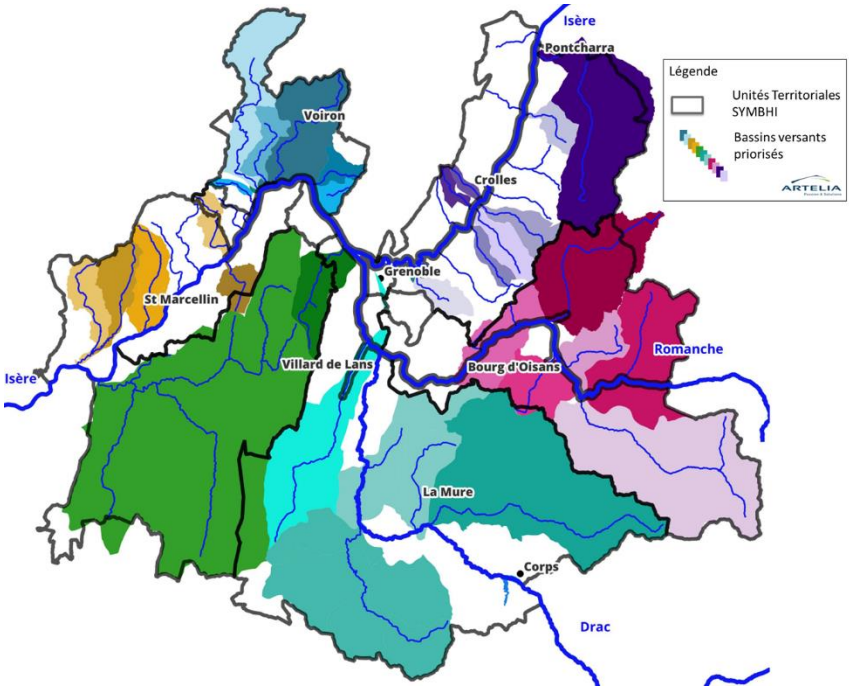
Le scénario 2 intègre les besoins définis en priorité 1 vis-à-vis des ouvrages classés ou en cours de classement ainsi que les autres besoins classés en priorité 1.

Les équipements proposés dans ce scénario sont relatifs à des stations patrimoniales pérennes dites « Stations patrimoniales simples » dans la suite du présent document. Elles intègrent de manière générale une sonde de niveau (immergée ou radar), un coffret intégrant tous les équipements électroniques d'acquisition, de transmission et de gestion de l'énergie. Les redondances transmission et la levée de doute ne sont pas intégrés dans ce scénario.

Le scénario 3 intègre tous les besoins définis en priorité 1 (ouvrages ou autres), il prévoit en plus, des outils ou équipements permettant une anticipation des crues par les pluies et la prévision des écoulements au droit des enjeux.

L'ensemble des équipements proposés dans le scénario 2 sont intégrés. L'utilisation de solutions commerciales Météo-France ou autres prestaires privés est envisagée pour l'anticipation et suivi des pluies. En dernier recours, des stations au sol pouvant accueillir des pluviomètres sont proposées en réponse à des lacunes existantes. Des outils sont ciblés pour la réalisation de prévisions quantitatives (prévisions de débits) à l'aide de modèles hydrologique ou lois de transfert.

Merci de vous référer aux paragraphes 6 et 8 suivants pour des détails techniques sur les configurations des stations et hypothèses prises pour les différents scénarios.



C. LES PROPOSITIONS

6. LES TYPOLOGIES DE STATIONS ET EQUIPEMENTS PROPOSES

Une station hydrométrique intègre les différentes fonctions suivantes :

- **Mesure :** la ou les mesures sont assurées par différentes sondes ou capteurs dédiés (niveau, vitesse, débit, pluie …)
- **Acquisition et horodatage :** l'horodatage, la transformation et le stockage des mesures sont assurés par une centrale d'acquisition, qui intègre aussi la configuration et le paramétrage des mesures, de la transmission, de la surveillance des autres équipements annexes (énergie, sécurité),
- **Transmission :** la transmission des mesures est assurée via un modem sur la base de la configuration réalisée au sein de la centrale d'acquisition, de manière classique les périodes d'acquisitions sont variables en fonction de seuils configurés : par exemple 1 jour (étiage), 1 heure, 30 minutes, 15 ou 10 minutes (crues). Les vecteurs de transmission les plus utilisés en hydrométrie en France sont le réseau mobile « GPRS » ou M2M 3G 4G) ou la radio.
- **Energie :** assurée par défaut par une batterie, la station peut aussi intégrer un panneau solaire, une liaison à une source d'alimentation du réseau, elle doit absolument intégrer des dispositifs contre les surtensions, mise à la terre et parafoudre .

Afin de refléter au plus près les futurs coûts d'investissement et de fonctionnement, nos propositions au stade faisabilité tiennent compte des possibilités réelles des sites ciblés. Les typologies de stations suivantes sont proposées :

- **Une station « patrimoniale complète »** intégrant soit un radar ou une sonde de pression, une échelle, un coffret complet intégrant la centrale d'acquisition, le ou les modems, une antenne, les équipements de gestion de l'énergie (batterie, surtension, parafoudre, panneau solaire), une caméra de levée de doute. Seront distinguées dans ce cas de figure les stations pour lesquelles une redondance énergétique ou redondance du vecteur de transmission est possible.
- **Une station « patrimoniale simple »** pour laquelle la levée de doute et les redondances ne sont pas possibles ou non activées.
- **Une station « compacte »** pour laquelle, soit par manque de place soit par choix d'économie on n'installe pas de coffret et pas de panneau solaire, la transmission se fait par GPRS, la centrale d'acquisition et le modem sont intégrées dans un module compact s'installant au-dessus d'un tube d'installation de la sonde pression.

A noter que les possibilités de transformation Hauteur / Débit sont précisées pour chaque site.

Sur quelques sites propices, un pluviomètre est proposé en ajout à la station limnimétrique. A ce stade nous ne proposons pas de pluviomètre seul, hors station limnimétrique.

Les caractéristiques techniques des équipements proposés à ce stade sont celles de matériels robustes, éprouvés et compatibles avec les conditions sur les affluents de l'Isère. Les coûts d'approvisionnement et d'installation sont des coûts moyens observés sur le marché. Ils ont été définis en concertation avec le SYMBHI.

Dans le cadre du scénario 1 (priorité 1 Ouvrages), des stations patrimoniales complètes sont proposées dans tous les cas où cela reste possible, des ajustements sont aussi proposés vers des stations patrimoniales simples voire stations compactes lorsque les conditions locales le justifient. Au droit des systèmes d'endiguement, en l'absence de section hydraulique stable, une échelle limnimétrique accompagnée d'une caméra (sans capteur de niveau) seront proposées pour remonter des informations visuelles au niveau des points de suivi indiqués dans les dossiers d'autorisation des ouvrages.

Dans le cadre du scénario 2 (Priorité 1 Ouvrages ou Non), des stations patrimoniales simples sont proposées. En particulier, la levée de doute par caméra ou les redondances transmission ou énergétiques ne sont pas intégrées.

Ces typologies de stations sont proposées de manière globale dans les différents scénarios. Ainsi pour des raisons de coût au regard du nombre de stations impliquées, des stations innovantes, plus onéreuses ont été écartées des chiffrages à ce stade. Ceci ne préjuge pas de quelques installations au cas par cas de type caméra intelligente sur le court moyen ou long terme par le SYMBHI.

REDONDANCE DE TRANSMISSION

La redondance de transmission est explicitement prévue dans le cadre du scénario 1 pour la surveillance des ouvrages classés ou susceptibles d'être classés. On distingue à ce sujet différents supports :

- **Un support « standard »** basé sur les réseaux mobiles dénommé classiquement « GPRS », aujourd'hui 3G / 4G et dérivés LTE, LTE-M, IOT… dédié aux applications M2M (machine to machine) : un choix judicieux de carte SIM sera argumenté en phase AVP (typiquement cartes SIM M2M multi-opérateurs pour minimiser les périodes d'indisponibilité des réseaux en territoire de montagnes.). Ce type de support permet l'envoi de données, d'images et potentiellement de courtes vidéos (selon dimensionnement de l'abonnement à détailler au stade AVP selon les besoins restant à préciser par le SYMBHI). A intégrer à la réflexion, l'évolution programmée des réseaux à des échéances proches 2025, 2026 dont arrêt de la 2G et 3G, ce qui en zone de couverture minimum actuelle devra être réinterrogé.
- **Un support « internet »** dans le cas où des possibilités locales de partage de connexion semblent possibles (bâtiment public à proximité immédiate du site) ; Nous avons exclu des possibilités le raccordement spécifique d'un site à la fibre ou ADSL car c'est très couteux en investissement initial (ligne + box à sécuriser sur domaine public) et

en fonctionnement (abonnement à payer et à gérer pour une consommation faible). Ce type de support permet l'envoi de données, d'images et potentiellement de vidéos (selon dimensionnement de l'abonnement à détailler au stade AVP selon les besoins restant à préciser par le SYMBHI).

- **Un support de secours**, basé sur une transmission radio sécurisée, disponible en toutes circonstances et potentiellement utilisée en priorité sur les sites isolés pour lesquels une connexion au réseau mobile est limitée ou inexistante. En fonction des choix finaux des sites, cette redondance pourra être activée quel que soit le scénario retenu par le SYMBHI. Ce type de support permet l'envoi de données, mais pas d'images. Au stade faisabilité nous intégrons les coûts d'un réseau privé sécurisé (extension du réseau actuel SCORPION utilisé par le SYMBHI). Le réseau LoRa pourra être mobilisé si pertinent (en fonction des sites) au stade AVP.

Nous avons exclu des hypothèses à ce stade de l'étude, la transmission de données via Internet par satellite du fait de coûts élevés à l'investissement (par site : 1 000€ à 1 200€ de surcoût parabole, installation, surdimensionnement énergie) et en fonctionnement (environ 600€ an). Le seul intérêt de cette technologie est la transmission d'images ou vidéo en site isolé prioritaire non couvert par le réseau mobile classique (4G). Une telle option pourra être étudiée au stade AVP si un tel site doit être retenu par le SYMBHI.

Pour les raccordements à une connexion internet publique à proximité ou au réseau électrique, le surcoût mentionné pour chaque site concerné est relatif au cheminement du câblage sur voirie en milieu urbain.

REDONDANCE ENERGETIQUE

Dans le cadre du scénario 1, relatif à la surveillance des ouvrages classés, le SYMBHI a souhaité intégrer une redondance énergétique. En solution de base, les stations sont équipées de batteries et d'un panneau solaire pour leur recharge. Les équipements hydrométriques sont de manière générale peu énergivores et équipés de dispositifs de gestion intelligence de la batterie. Dans le cas de la disponibilité sur site d'une source d'alimentation énergétique complémentaire, cette option est activée et intégrée. La source d'alimentation ciblée principalement est celle du réseau d'éclairage public disponible à proximité du site, activable par convention avec les mairies. Cette source d'alimentation complémentaire pourra permettre une recharge sécurisée des batteries même si disponible que quelques heures par jour. Nous avons exclu des possibilités le raccordement spécifique d'un site au réseau énergétique classique ENEDIS car d'après les retours d'expérience, c'est très couteux en investissement initial (ligne + compteur à sécuriser sur domaine public) et en fonctionnement (abonnement à payer et à gérer pour une consommation extrêmement faible).

A noter que pour certains sites isolés, peu ensoleillés, un surdimensionnent de la batterie est déjà intégré dans le prix estimatif de la station au stade faisabilité.

Les dimensionnements précis des batteries resteront à affiner au stade AVP en particulier si une caméra de levée de doute est intégrée à la station.

Pour les raccordements à une connexion internet publique à proximité ou au réseau électrique, le surcoût mentionné pour chaque site concerné est relatif au cheminement du câblage sur voirie en milieu urbain.

CAMERA DE LEVEE DE DOUTE

Dans le cadre du scénario 1, une caméra de levée de doute est intégrée aux équipements d'une station. Cette caméra, avec dispositif pour vision nocturne, sera positionnée pour une capture de la section d'écoulement et de l'échelle limnimétrique de la station. L'objectif étant de limiter les déplacements sur site potentiellement isolé d'agents SYMBHI ou partenaires communaux lors de crues, tout en permettant une surveillance à distance des conditions locales. Par défaut, l'hypothèse de base est celle de la transmission d'images, hors flux vidéo sauf sur certains sites dans le cas à la fois de ressources énergétiques confortables sécurisées et d'une transmission de très bonne qualité.

SONDES DE NIVEAU

Différents types de sonde de niveau ou équivalents sont potentiellement utilisables. Nous présentons dans le tableau suivant les avantages, inconvénients, contraintes d'utilisation et hypothèses retenues dans le cadre de nos propositions relatives aux sondes les plus courantes.

Tableau 2 : Comparaison des sondes de niveaux/vitesses les plus courantes

Sonde niveau	Principe simplifié	Avantages	Inconvénients	Contraintes d'utilisation	Hypothèses retenues dans le cadre de nos propositions
Capteur radar	Le signal radar envoyé sur la surface de l'eau est moyenné sur un disque de rayon dépendant de la hauteur du radar, transformé en "tirant d'air " puis en hauteur ou niveau.	Capteur hors d'eau Non sensible aux eaux chargées Peu de dérive	Sensible à la nature des écoulements (nécessite des écoulements relativement homogènes et non lisses)	Zone blanche de quelques dizaines de centimètres (dépendant du modèle) sous le capteur (attention aux crues exceptionnelles) et largeur du cône de mesure dépendant de la hauteur (environ 1m de rayon à 4m de hauteur) Le cône de mesure doit être exempt d'obstacles ou de remous importants	Capteur proposé lorsque possible vis-à-vis des contraintes indiquées ci-contre (en particulier absence de végétation et de gros rochers dans le cône de mesure). Notre conseil utilisation d'un bras articulé pour faciliter la maintenance. Protection par « casquette »
Capteur prise de pression	La pression sous l'eau est comparée à la pression atmosphérique puis transformée en hauteur d'eau.	Simple, pas de dérive, pas ou peu d'entretien, aucune influence des remous, végétation, turbidité	Electronique immergée	Nécessite un emplacement sécurisé non susceptible d'être emporté par les crues ou un charriage sédimentaire important	Capteur proposé si la configuration du site permet la sécurisation du cheminement du câble et de la sonde de pression voir aussi alternative bulle à bulle
Capteur bulle à bulle	La pression sous l'eau est calculée via la pression injectée dans un tube conduit sous l'eau. Cette pression est comparée à la pression atmosphérique puis transformée en hauteur d'eau.	Simple, pas d'électronique immergée mais uniquement le tube de prise de pression. L'électronique peut être déportée dans le coffret à proximité. Aucune influence des remous, végétation, turbidité	Dérive plus importante constatée, un recalibrage par an à prévoir.	Nécessite un emplacement sécurisé non susceptible d'être emporté par les crues ou un charriage sédimentaire important - conséquence moins dommageable que pour un capteur pression classique (uniquement tube de pression à changer) mais perte de mesures.	Capteur proposé si la configuration du site permet la sécurisation du cheminement du câble et de la sonde de pression - Notre proposition est de demander une protection renforcée avec un tube acier inoxydable ou équivalent et des fixations renforcées.

Sonde niveau	Principe simplifié	Avantages	Inconvénients	Contraintes d'utilisation	Hypothèses retenues dans le cadre de nos propositions
Capteur ultrasons ou doppler vitesses et niveaux	Le temps de cheminement des ondes ultrasons ou doppler permet de déduire le niveau de l'eau, le décalage des ondes sur la surface de l'eau permet de déterminer la vitesse moyenne des écoulements de surface.	Capteur hors d'eau Non sensible aux eaux chargées	Nécessite une section peu variable, des écoulements homogènes, une répartition stable des vitesses d'écoulement sur la section.	Pas adapté aux écoulements torrentiels avec transport solide important	Non proposé
Caméra intelligente	L'analyse des images vidéo en temps -réel par un algorithme embarqué permet de déterminer la hauteur d'eau et/ou la vitesse moyenne des écoulements de surface.	Capteur hors d'eau Non sensible aux eaux chargées	Nécessite une section peu variable, des écoulements homogènes, une répartition stable des vitesses d'écoulement sur la section. Coût important, effort de configuration et d'étalonnage important . Dans le cas d'une caméra déterminant la hauteur d'eau par lecture d'échelle, l'erreur de la mesure instantanée peut être importante dans le cas d'écoulements torrentiels turbulents.	Peu adapté aux écoulements torrentiels avec transport solide important	Non proposé

7. LES RESEAUX PROPOSES PAR UT ET PAR SCENARIO

Les chiffres globaux sont présentés dans le tableau suivant (stations hydrométriques complémentaires hors dispositifs d'anticipation pluie ou modèle) .

Pour rappel, les nombreux dispositifs existants du territoire sont repris et synthétisés en annexe 8 du présent rapport.

Tableau 3 : Nombre de points de suivis complémentaires proposés par UT et par scénario.

	Nbre de points complémentaires supplémentaires par scénario			Nbre de points complémentaires totaux par scénario		
UT	SC1	SC2	SC3	SC1	SC2	SC3
Drac	8	3	1	8	11	12
Sud Grésivaudan	1	3	1	1	4	5
Romanche	2	1	0	2	3	3
Vercors	1	2	0	1	3	3
Voiron	5	2	0	5	7	7
Grésivaudan	6	3	3	6	9	12
TOTAL	**23**	**14**	**5**	**23**	**37**	**42**

8. LA DEFINITION DES COUTS D'INVESTISSEMENT

8.1. LES STATIONS

L'investissement initial concerne l'ensemble des items relatifs à la mise en œuvre du réseau SYMBHI. On comptabilise donc dans ce premier poste de dépenses :

- L'acquisition des équipements,
- Leur installation comprenant les petits travaux de génie civil nécessaires (mâts, supports, cheminements de câblage sécurisés, potences, quincaillerie),
- La définition du zéro hydrologique de la station (nivellement NGF du zéro de l'échelle),
- La configuration initiale des stations,

- Les abonnements éventuellement nécessaires (telecom cartes SIM et abonnement 1ière année) – à noter que la distinction selon les sites et selon les besoins particuliers s'effectuera au stade AVP – au stade FAISA les coûts intègrent un abonnement de base pour les scénarios 2 et 3 (100 Mo data/mois), un abonnement surdimensionné (1Go data /mois) dans le cadre du scénario 1.
- Les déclarations nécessaires (loi sur l'eau, radio),
- Les conventions partenaires (probablement pas immédiat, faut comptabiliser du temps ETP SYMBHI ?) ;
- Toutes les adaptations nécessaires du superviseur SYMBHI pour les besoins propres des UTs et l'intégration des dispositifs existants dans la supervision SYMBHI, l'intégration des nouveaux dispositifs (y compris nouveaux vecteurs de transmission et nouvelles fonctions (par exemple synoptiques UTs, …))
- La réalisation de jaugeages initiaux et établissement de courbes de tarages théoriques,
- Approvisionnement d'un stock minimal de pièces de rechange (dimensionnement au stade faisabilité sur la base d'un pourcentage des coût d'équipements (environ 20%), une liste complète sera fournie au stade AVP).

Le détail des coûts unitaires utilisés est présenté dans les tableaux suivants.

Tableau 4 : Prix unitaires retenus

Postes unitaires	Prix estimatif € HT retenu
Coffret sécurisé	€ 800,00
Batterie + regulateur	€ 400,00
Panneau solaire +support	€ 1 250,00
Centrale acquisition	€ 2 000,00
Modem GSM / Internet routeur/box	€ 600,00
Mire 1m + quinquaillerie	€ 110,00
Radio : modem radio + antenne (RTU Scorpion + RTR 1/5)	€ 3 140,00
Sonde radar + fixation (bras articulé)	€ 2 150,00
Sonde pression câble < 50 m	€ 1 200,00
Caméra simple + infra rouge	€ 2 200,00
Pluvio Augets	€ 1 500,00
Station Compacte Pression acq Trans	€ 2 500,00

Installation GC + matériel	
Mât	€ 1 200,00
Socle béton	€ 200,00
Potence	€ 250,00
Cheminement câblage (gaines) très petite distance (max 5 m) hors voiries tranchée possible, sur voiries en aérien	€ 200,00
Cheminement sonde pression	€ 700,00

Postes unitaires	Prix estimatif € HT retenu
Support Echelle (UPN 2m)	€ 125,00
Divers (Dessicant/ droguerie / quincaillerie)	€ 100,00
Raccordement réseau énergie et internet (convention) avec cheminement sur voiries en tranchée	€ 8 000,00
Difficulté accessibilité site	€ 800,00
Configuration station complète	€ 1 700,00
Configuration station simple	€ 1 500,00
Configuration station compacte	€ 800,00
Installation , paramétrage et test Radio	€ 4 000,00
TOPO : Nivellement zéro hydrographique et 3 Profils en Travers	€ 400,00
Etude radio initiale et licence canaux (par station)	€ 1 883,33
Souscription abonnement "GPRS" / LTE-M, 2G à 5G 1 an (100 Mo data /mois)	€ 100,00
Souscription abonnement "GPRS" / LTE-M, 2G à 5G 1 an (1 Go data /mois)	€ 200,00

Etablissement Convention partenaires	€ 25 000,00

Approvisionnement pièces de rechange	20% equipements

Déclarations loi sur l'eau	€ 3 000,00

Jaugeages initiaux	€ 400,00
Loi de tarage théorique	€ 2 000,00

Internet par satellite (seul intérêt pour faire passer images et videos)	
Initial parabole	400,00 €
Initial Activation	40,00 €
Abonnement 1 an	600,00 €
Reglage parabole	100,00 €
Surdimensionnement énergie	600,00 €

L'application de ces coûts unitaires conduit aux différents coûts par typologie de station figurant dans les tableaux suivants (tableau 4 et 5). La matrice fournie en page suivante (tableau 6) présente le détail des prix pour chaque poste de dépenses et typologie de station

Tableau 5 : Coûts estimatifs par type de station - Patrimoniale complète (€ HT)

Typologies de stations	**Patrimoniale complète**					
	Radar			Pression		
	GPRS seul	GPRS + radio	GPRS + Internet filaire	GPRS seul	GPRS + radio	GPRS + Internet filaire
Equipement	9 510 €	12 650 €	9 510 €	8 560 €	11 700 €	8 560 €
Installation physique	1 500 €	1 500 €	9 500 €	2 000 €	2 000 €	10 000 €
Configuration , nivellement, étude Radio	2 100 €	3 983 €	2 100 €	2 100 €	3 983 €	2 100 €
Abonnement GPRS 1 an	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €
Total hors spécificités supplémentaires du site	13 310 €	18 333 €	21 310 €	12 860 €	17 883 €	20 860 €

Tableau 6 : Coûts estimatifs par type de station - Patrimoniale simple et compacte(€ HT)

Typologies de stations	**Patrimoniale simple**				**Compacte**
	Radar		Pression		Pression GPRS
	GPRS seul	Radio (ou Radio + GPRS)	GPRS seul	Radio (ou Radio + GPRS)	Type Ecolog 1000
Equipement	7 310 €	10 450 €	6 360 €	9 500 €	2 610 €
Installation physique	1 500 €	1 500 €	2 000 €	2 000 €	700 €
Configuration , nivellement, étude Radio	1 900 €	3 783 €	1 900 €	3 783 €	1 200 €
Abonnement GPRS 1 an	100 €	100 €	100 €	100 €	100 €
Total hors spécificités supplémentaires du site	10 810 €	15 833 €	10 360 €	15 383 €	4 610 €

NB : la mention Radio (ou Radio + GPRS) indique la redondance intégrée au scénario 1 et dans le cadre du scénario 2 ou 3 que la connectivité au réseau mobile actuelle du site est limitée ou absente et qu'une solution radio doit être mise en place . En fonction des configurations locales et des besoins il pourra être mis en place un modem radio éventuellement doublé d'un modem « GPRS ».

Tableau 7 : détail des prix mobilisés pour chaque poste de dépenses et typologie de station

Postes unitaires	Prix estimatif € HT retenu	Typologies de stations	Patrimoniale complète						Patrimoniale simple				Compacte
			Radar			Pression			Radar		Pression		Pression GPRS
			GPRS seul	GPRS + radio	GPRS + Internet filaire	GPRS seul	GPRS + radio	GPRS + Internet filaire	GPRS seul	Radio (ou Radio + GPRS)	GPRS seul	Radio (ou Radio + GPRS)	Type Ecolog 1000
		Equipement	9 510 €	12 650 €	9 510 €	8 560 €	11 700 €	8 560 €	7 310 €	10 450 €	6 360 €	9 500 €	2 610 €
		Installation physique	1 500 €	1 500 €	9 500 €	2 000 €	2 000 €	10 000 €	1 500 €	1 500 €	2 000 €	2 000 €	700 €
		Configuration , nivellement, étude Radio	2 100 €	3 983 €	2 100 €	2 100 €	3 983 €	2 100 €	1 900 €	3 783 €	1 900 €	3 783 €	1 200 €
		Abonnement GPRS 1 an	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	100 €	100 €	100 €	100 €	100 €
		Total hors spécificités supplémentaires du site	13 310 €	18 333 €	21 310 €	12 860 €	17 883 €	20 860 €	10 810 €	15 833 €	10 360 €	15 383 €	4 610 €
Coffret sécurisé	€ 800,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Batterie + regulateur	€ 400,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Panneau solaire +support	€ 1 250,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Centrale acquisition	€ 2 000,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Modem GSM / Internet routeur/box	€ 600,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Mire 1m + quinquaillerie	€ 110,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Radio : modem radio + antenne (RTU Scorpion + RTR 1/5)	€ 3 140,00			1			1			1		1	
Sonde radar + fixation (bras articulé)	€ 2 150,00		1	1	1				1	1			
Sonde pression câble < 50 m	€ 1 200,00					1	1	1			1	1	
Caméra simple + infra rouge	€ 2 200,00		1	1	1	1	1	1					
Pluvio Augets	€ 1 500,00												
Station Compacte Pression acq Trans	€ 2 500,00												1
Installation GC + matériel													
Mât	€ 1 200,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Socle béton	€ 200,00												
Potence	€ 250,00												
Cheminement câblage (gaines) très petite distance (max 5 m) hors voiries tranchée possible, sur voiries en aérien	€ 200,00		1	1	1				1	1			
Cheminement sonde pression	€ 700,00					1	1	1			1	1	1
Support Echelle (UPN 2m)	€ 125,00												
Divers (Dessicant/ droguerie / quincaillerie)	€ 100,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Raccordement réseau énergie et internet (convention) avec cheminement sur voiries en tranchée	€ 8 000,00				1			1					
Difficulté accessibilité site	€ 800,00												
Configuration station complète	€ 1 700,00		1	1	1	1	1	1					
Configuration station simple	€ 1 500,00								1	1	1	1	
Configuration station compacte	€ 800,00												1
Installation , paramétrage et test Radio	€ 4 000,00												
TOPO : Nivellement zéro hydrographique et 3 Profils en Travers	€ 400,00		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Etude radio initiale et licence canaux (par station)	€ 1 883,33			1			1			1		1	
Souscription abonnement "GPRS" / LTE-M, 2G à 5G 1 an (100 Mo data /mois)	€ 100,00								1	1	1	1	1
Souscription abonnement "GPRS" / LTE-M, 2G à 5G 1 an (1 Go data /mois)	€ 200,00		1	1	1	1	1	1					

8.2. ANTICIPATION ET PREVISION (SCENARIO 3)

Dans le cadre du scénario 3, plusieurs méthodes peuvent être proposées pour anticiper les phénomènes hydro-climatologiques :

- Utiliser une anticipation « qualitative » basée sur les prévisions de pluie (fournies par Météo France ou une autre solution privée).
- Ajouter des stations limnimétriques ou pluviométriques en amont de la zone à enjeu (en tenant compte des coûts mentionnés ci-dessus).
- Mettre en œuvre une prévision hydrologique quantifiée à l'aide d'un outil (modèle hydrologique, propagation, ou loi de transfert Q-Q, H-H) à partir de données de pluie observées ou prévisionnelles (similaire à l'anticipation « qualitative »).

Ces différentes options sont détaillées ci-après.

A noter que les propositions sont dépendantes à la fois des possibilités sur chaque bassin versant (emplacements admissibles pour une mesure ou anticipation de pluie de qualité solution SYMBHI ou solution externe), de l'importance des enjeux (le coût important implique une priorisation à l'échelle du SYMBHI) et de la disponibilité de chroniques d'observations.

AJOUTS DE STATIONS EN AMONT DU SECTEUR A ENJEU

Sur certains bassins versants ciblés spécifiquement dans les annexes UTs, s'il est possible d'installer une station limnimétrique ou pluviométrique à l'amont des tronçons prioritaires, la possibilité est analysée au cas par cas vis-à-vis de sa faisabilité et son utilité en anticipation.

Si un gain d'anticipation semble possible soit pour la mise en vigilance (réaction rapide du cours d'eau à l'amont) ou alerte (atteinte d'un seuil), alors le point d'instrumentation est proposé dans le cadre du scénario 3.

ANTICIPATION « QUALITATIVE » SUR LA BASE DE PREVISIONS DES PLUIES

Les prévisions de pluies jouent un rôle crucial dans la gestion des écoulements. Elles permettent d'anticiper les variations de débit des rivières, offrant ainsi une base solide pour la prise de décision. Les modèles météorologiques modernes (a contrario des postes de mesure au sol) permettent une prévision des pluies. Il existe entre autres **AROME-PI de Météo-France** (Application of Research to Operations at Mesoscale), qui est un outil puissant pour les prévisions météorologiques, y compris les prévisions de pluie. Ces modèles météorologiques fournissent des prévisions :

- **Haute résolution** : AROME offre des prévisions à une résolution de 1.3 km, permettant une grande précision dans la détection des phénomènes météorologiques locaux,
- **Avec des mises à jour fréquentes** : Les prévisions sont réactualisées toutes les 3 heures, fournissant des données actualisées pour une meilleure anticipation des événements météorologiques,
- Ces modèles fournissent des **informations détaillées sur les précipitations**, y compris les cumuls de pluie, les types de précipitations (pluie, neige, grêle),

En montagne, les prévisions de température et de précipitations peuvent être moins précises en raison des variations rapides et locales des conditions météorologiques. Les modèles peuvent avoir des difficultés à prévoir avec précision les événements de neige et de pluie dans ces régions.

Pour qualifier la pertinence de ces données de prévision de pluie sur les différents secteurs d'intérêt, nous avons considéré que AROME PI peut être retenu si la qualité des lames d'eau radar ANTILOPE (cf. paragraphe 4) est supérieure à 50 c'est-à-dire acceptable selon notre qualification. Si cette solution n'est pas retenue, les préconisations faites dans le scénario 3 se basent sur d'autres solutions commerciales, telles que :

- **HD RAIN** propose des solutions avancées de prévision météorologique, combinant des observations haute définition et l'intelligence artificielle. Leur offre comprend :

- **Précision et Fiabilité** : Les prévisions (2 heures pour les précipitations) sont réalisées avec une précision de 500 mètres et une actualisation minute par minute.
- **Données en Temps Réel** : HD Rain fournit des données en temps réel sur la pluie, la température, l'humidité, la pression atmosphérique, le rayonnement solaire, et le vent.
- **Prévision des pluies** : les paramètres pluies sont disponibles avec une prévision de 2 heures et sont mises à jour toutes les 5 minutes avec les nouvelles observations.
- **Alertes Personnalisables** : Les utilisateurs peuvent recevoir des alertes personnalisées pour les inondations et autres événements météorologiques sur le canal de leur choix.

Ces services permettent une meilleure gestion des risques et une planification plus efficace des interventions en cas de phénomènes météorologiques extrêmes.

Les coûts de cette solution commerciale peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la couverture géographique, la fréquence des mises à jour, et les fonctionnalités spécifiques requises (comme les alertes personnalisées ou les données en temps réel). A titre indicatif (Source documentation commerciale HD Rain) :

- L'installation d'un capteur coûte 1000 euros ;
- L'abonnement aux données (accès web App, pluie, historique des dernières 24h) est disponible à partir de 50 euros /mois/capteur ;
- En option HD Rain peut proposer l'acquisition des paramètres climatologiques température, humidité, prévision (prix restant à préciser selon le site) …

Cette solution apparait intéressante en absence de données locales précises et évite au SYMBHI un investissement dans une station pluviométrique isolée (en limite de ses compétences). L'ajout en option de prévision est un réel plus qui reste à tester en zone montagneuse.

- **Weather Solutions** propose des services de prévision météorologique de haute précision adaptés à divers secteurs tels que la mobilité, l'énergie, l'agriculture, et les événements. Leur offre comprend :
  - **Précision des Données** : Weather Solutions met l'accent sur la qualité et la précision de ses prévisions météorologiques, en utilisant des capteurs locaux et des instruments de mesure avancés.
  - **Sources de données diverses** : des données provenant de différentes sources, notamment des images satellite, des données radar de précipitations, des stations météorologiques terrestres et plusieurs modèles météorologiques mondiaux et régionaux sont utilisés.
  - **Technologie Avancée** : Ils utilisent des technologies d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle, combinées à une expertise météorologique humaine, pour fournir des prévisions fiables.
  - **Solutions Personnalisées** : Les données météorologiques sont personnalisées en fonction des besoins spécifiques des clients, permettant une meilleure planification et gestion des opérations.

  Nous n'avons pas à ce stade d'estimation tarifaire pour cette solution commerciale. Son intérêt reste à être précisé dans des zones dépourvues de données locales. Pas d'installation de station proposée, sauf à installer une station SYMBHI. Des compléments d'investigation seront réalisés dès lors que les points d'intérêt auront été validés (stade AVP).

ANTICIPATION « QUANTITATIVE » DES ECOULEMENTS BASEE SUR LES PREVISIONS DE PLUIES

L'anticipation des écoulements est une approche essentielle pour la gestion des ressources en eau, particulièrement dans le contexte des changements climatiques et des événements météorologiques extrêmes. Cette méthode repose sur l'utilisation des prévisions de pluies pour estimer les débits des cours d'eau et ainsi prévenir les risques d'inondation ou de sécheresse.

L'anticipation des écoulements implique plusieurs étapes clés :

- **Collecte des données météorologiques** : Utilisation des prévisions de pluies fournies par les modèles météorologiques.
- **Analyse statistique** : Évaluation des données de pluies annuelles, mensuelles et journalières pour identifier les tendances et les anomalies.

- **Modélisation hydrologique** : Application de modèles hydrologiques (comme les modèles GR) pour simuler les écoulements en fonction des prévisions de pluies. Avant l'utilisation de ces modèles en anticipations, une première étape de calage-validation à partir de données hydrométriques observées est primordiale pour bien caractériser le fonctionnement hydrologique au droit du site de mesure. Ainsi cette méthode ne pourra être proposée sur le court terme que sur des bassins déjà instrumentés (par exemple stations EDF existantes), sur les bassins non instrumentés actuellement la méthode est proposée à moyen terme et pour les bassins versants à plus forts enjeux .

En combinant les données météorologiques et les modèles hydrologiques, il est possible de mieux comprendre et prévoir les variations des débits, contribuant ainsi à la protection des populations et à la préservation des écosystèmes. L'anticipation des écoulements est utilisée dans divers domaines comme la gestion des crues (prévoir les inondations et mettre en place des mesures préventives pour protéger les zones à risque), la gestion des ressources en eau (optimiser l'utilisation des ressources en eau pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et la production d'énergie hydroélectrique).

Les modèles calés peuvent être utilisés en temps réel pour l'anticipation des débits, un recalage en temps-réel est conseillé sur la base des mesures réellement observées sur le bassin. En effet, la pluie réellement tombée et la réaction du cours d'eau à cette pluie permettent un recalage du ruissellement réel observé et sur cette base, cela anticipe de manière plus réaliste les débits attendus en réponse à la quantité de pluie prévisionnelle sur le bassin.

COUTS ESTIMATIFS UTILISES

Pour ces postes de dépenses spécifiques au scénario 3, au stade faisabilité, les coûts unitaires sont présentés dans le Tableau 8 suivant.

Tableau 8 : Coûts estimatifs supplémentaires – scénario 3

Postes unitaires	Prix estimatif € HT retenu	Notes
Prévision lame d'eau AROME PI 3 heures	- €	
Prévision lame d'eau - privée (HD RAIN 1 capteur)	1 600,00 €	1000 € + 50 € par mois/capteur Prévision en plus (selon site)
Modèle hydrologique prévision (P-Q) avec recalage Temps -réel	5 000,00 €	Dev = >Exploit SYMBHI (à voir effet de nombre possible)
Lois de transferts Q-Q ou H-H	2 500,00 €	Effet de nombre possible. Le cout sera également dépendant des modèles de propagation déjà existant ou non sur les secteur d'étude.
Partage prévisions EDF	10 000 €	Coût supervision Prévision EDF pour le SM3A : 30 000 €/an au global incluant le superviseur On retient 10 000€ par BV par sécurité

8.3. SUPERVISION

L'intégration des mesures et observations des stations existantes et nouvelles est ciblée de préférence dans le superviseur actuel du SYMBHI dont la maintenance est assurée par la société SYNAPSES. Cette décision a été prise lors de la réunion « brainstorming scénarios » du 5 juin 2024. Le maintien d'une interface commune et déjà connue du SYMBHI est en effet un atout indéniable pour la poursuite et l'intégration de nouvelles informations.

En fonction du nombre de stations effectivement retenues par le SYMBHI, la décision pourra être remise en cause au stade AVP si besoin.

Nos hypothèses :

Le superviseur actuel du SYMBHI doit être mis à jour pour l'intégration des stations existantes et des nouvelles stations. Les différents postes de dépenses seront à discuter avec le prestataire actuel sur la base de spécifications techniques au stade AVP.

Au stade faisabilité, nous intégrons l'ensemble des stations existantes du territoire :

- stations limnimétriques (DREAL, EDF) sur les bassins objets de la présente étude mais aussi bassins versants proches et similaires ainsi que les stations sur les cours d'eau majeurs du territoire (Isère, Drac , Romanche) qui fournissent des informations indispensables au niveau des confluences ;
- stations pluviométriques temps-réel (MF, EDF, ROMMA , EPCI) permettant une couverture spatiale la plus complète possible sur les différentes UTs .

Nous intégrons aussi l'ensemble des nouvelles stations SYMBHI (le coût varie selon le nombre de stations dans le scénario).

Nous imaginons aussi à ce stade la mise en place de variables élaborées temps-réel nécessaires à une bonne appréciation de la situation hydrologique pour la gestion de crise :

- cumuls pluviométriques ou neigeux sur différents pas de temps 1 semaine, 2 semaines, 2 jours , 1 jour pour l'évaluation de conditions aggravantes (saturation des sols, ruissellement,…)
- gradients de montées des eaux qui sont de bons compléments aux seuils de hauteurs et permettent de vérifier les réactions rapides des cours d'eau à une pluie,
- relations simples hauteur-hauteur ou débit-débit basées sur des abaques (retours d'expériences, modèles).

Enfin, étant donnés la taille du territoire et le nombre de stations à intégrer, il nous semble à ce stade opportun de prévoir la mise en place de synoptiques dédiés par UTs ; plutôt qu'un seul synoptique global sur l'ensemble du territoire du SYMBHI. (Rappel : Un synoptique est un écran/ interface qui fournit une représentation synthétique, dynamique et instantanée de l'ensemble des équipements supervisés (les stations) , souvent présenté sous fond cartographique , il peut aussi être simplifié ou schématisé . Il présente classiquement sous forme de couleur l'état d'une station (défaut, normal, situation de crise …), l'utilisateur peut interagir directement sur le synoptique et afficher les variables techniques ou observations de la station.).

Les estimatifs sont fournis ci-après. Ils seront à affiner /rediscuter avec le prestataire actuel en phase AVP sur un périmètre défini en nombre de stations et des spécifications techniques. Concertées avec le SYMBHI.

Tableau 9 : Coûts estimatifs supervision

Postes unitaires	Prix estimatif € HT retenu	Notes
Intégration des stations DREAL du territoire	2 000,00 €	
Intégration des stations Météo France du territoire	5 000,00 €	
Intégration des stations EDF du territoire	5 000,00 €	
Intégration des stations Romma du territoire	5 000,00 €	
Intégration des stations EPCI du territoire	7 500,00 €	
Intégration des nouvelles stations	5 000,00 €	prix pour 10 stations
Définitions spécifiques de seuils d'alerte (variable élaborée)	5 000,00 €	prix pour 10 stations
Mise en place de synoptiques par UT	20 000,00 €	

9. LA DEFINITION DES COUTS D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

Les coûts d'exploitation et de maintenance sont estimés sur une période de 10 ans à la demande du SYMBHI. La première année correspond à l'installation et mise en service (investissement) , 9 ans de maintenance exploitation sont donc pris en compte.

On comptabilise dans ce poste de dépenses :

- L'entretien courant,
- L'entretien annuel,
- Le recalibrage des sondes,
- La maintenance corrective,
- Les jaugeages et la mise à jour des courbes de tarage,
- Le complément des pièces de rechange,
- Petites évolutions (contraintes extérieures)
- Maintenance supervision (corrective et petites évolutions)
- Abonnements
- Conventions

Une partie de ces postes peut être réalisée en interne au SYMBHI ou externalisé. Les chiffrages distinguent donc ces deux possibilités, comme présenté dans le tableau ci-après.

Les couts unitaires interne et externes utilisés sont les suivants :

Tableau 10 : Coûts internes et externe utilisés

ETP SYMBHI (j) frais inclus	ETP Privé externe (PV jour - frais inclus)
300,00 *€	1 000,00 €

* ETP SYMBHI moyen à 220€ / jour + 80€ euros frais (carburant, repas, amortissement voiture)

Tableau 11 : Efforts et coûts de maintenance estimés

Postes unitaires	**Temps estimé (jours/an)**	**Prix estimatif € HT retenu en externalisation (/an)**	**Prix estimatif € HT retenu en interne SYMBHI (/an)**	Notes
Surveillance fonctionnement réseau stations (7j/7 H24 astreinte)	18,25	18 250,00 €	5 475,00 €	temps et coût pour 10 stations (1,2 h par jour , soit environ 7 minutes par station tous les jours)
Entretien courant de la station et des abords - maintenance préventive	10	10 000,00 €	3 000,00 €	1 visite tous les 4 mois (3 / an) - environ 3 sites par jour temps et coût pour 10 stations

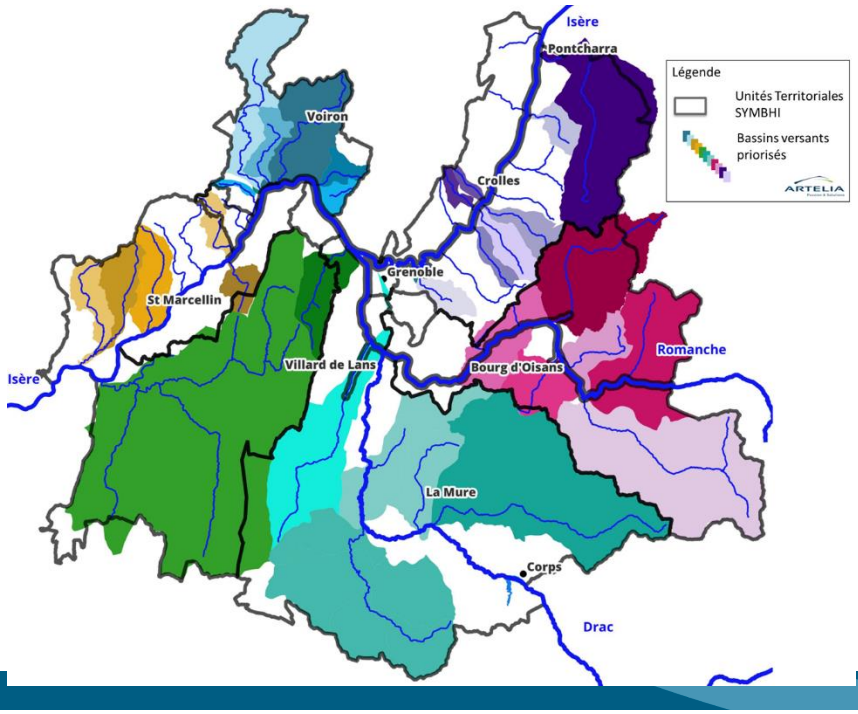
Intervention végétation ++	1	1 000,00 €		1 site - attention Renouée - décharge et mesures spécifiques
Maintenance corrective sur défaut	1	1 000,00 €	300,00 €	1 site - remplacement de pièce ou intervention sur site (visite post crue …) (5/10 par an)
Réétalonnage sonde	2	2 000,00 €		tous les 5 ans
Jaugeages et Mise à jour Courbes de tarage	17	17 000,00 €	5 100,00 €	2 sites par jour , 3 campagnes annuelles , 2 j maj courbe / an , 10 stations
Abonnement GPRS/2G		120,00 €	0,00 €	Par station
Qualification /Validation mesures et transformation H/Q	68	67 500,00 €	20 250,00 €	1,5 jours par semaine (45 semaines / an) 10 stations
Total annuel moyen estimé par station	12	12 000€	3 600€	
Postes globaux				
Complément pièces de rechanges				1/4 du stock par an
Surveillance réseau radio	6	6 000,00 €	1 800,00 €	annuel
Maintenance corrective Superviseur	10	10 000,00 €		1 an
Maintenance évolutive Superviseur	50	50 000,00 €		Tous les 5 ans
Coût annuels conventions		20 000,00 €		Pas de chiffre précis : EDF Romma

SURVEILLANCE DU RESEAU DE STATIONS

A ce stade l'hypothèse est celle d'une surveillance technique constante du réseau de stations consistant à surveiller au niveau du superviseur les variables techniques des stations (fonctionnement, transmission, état de la batterie, valeurs mesurées) pour avertir lors d'un défaut (programmation mission maintenance corrective sur site) et lors d'une situation hydrologique à surveiller (renvoi sur cellule gestion de crise : étapes veille / vigilance /alerte). Est prévu environ 72 minutes pour 10 stations soit 7 minutes par station pour le passage en revue de toutes les variables techniques.

ENTRETIEN DES ABORDS ET DE LA VEGETATION

Les hypothèses sont celles d'une intervention SYMBHI ou prestataire extérieur pour un entretien courant et facile. Une ligne complémentaire est prévue pour des surcoûts liés soit à l'intervention d'une entreprise extérieure (ou commune) soit à des surcoûts par exemple liés au traitement de la renouée.



D. LES RESULTATS DES ESTIMATIONS FINANCIERES

10. LES COUTS D'INVESTISSEMENT D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE PAR SCENARIO

La mise en œuvre des scénarios définis, fournit la vision suivante des coûts d'investissements et de maintenance.

Les chiffres globaux présentés ci-dessous sont la synthèse des chiffrages réalisés pour chaque Unité Territoriale (cf annexes du présent rapport).

Tableau 12 : Synthèse des coûts d'investissements et d'exploitation , échelle SYMBHI tous scénarios

	Nombre de stations complémentaires	Coût d'investissement initial	Coût total 10 ans (Internalisation)	Coût total 10 ans (Externalisation)
Scénario 1	23	637 438 €	2 076 118 €	3 852 718 €
Scénario 2	37	573 013 €	2 577 193 €	5 412 193 €
Scénario 3	42	648 513 €	2 872 053 €	6 085 053 €

Le graphe suivant montre la répartition des coûts à l'échelle du SYMBHI et pour l'ensemble des trois scénarios envisagés.

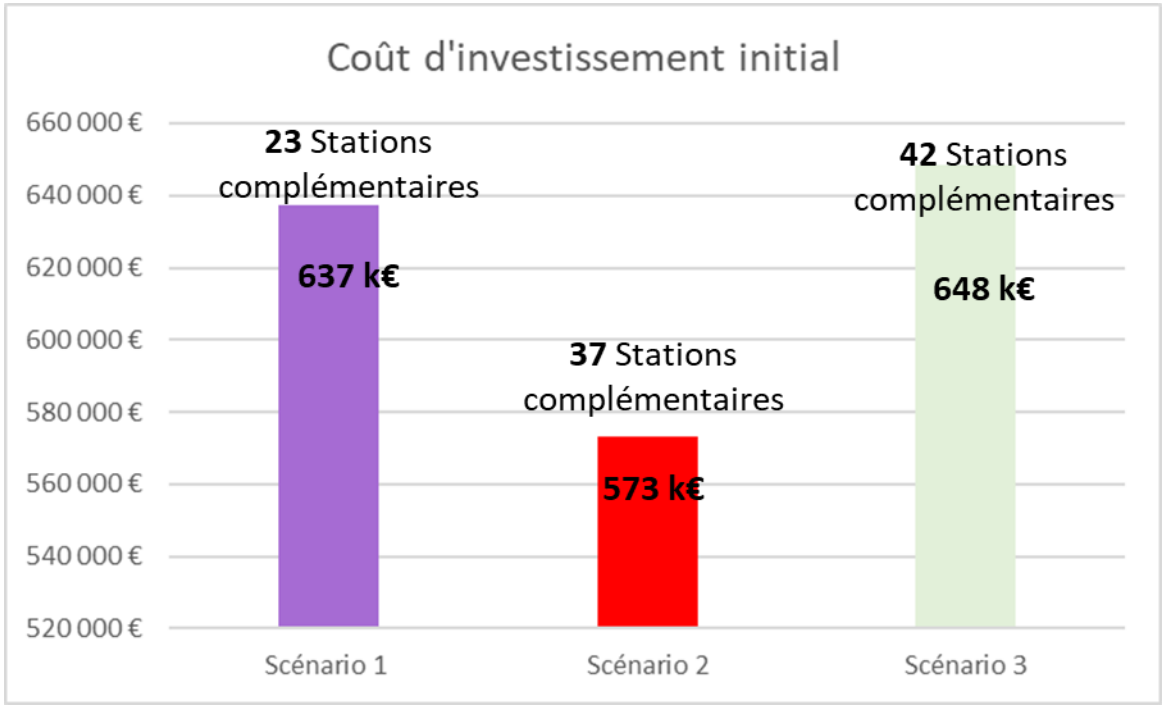


Figure 6 : Graphe des coûts d'investissement initial, échelle SYMBHI, tous scénarios

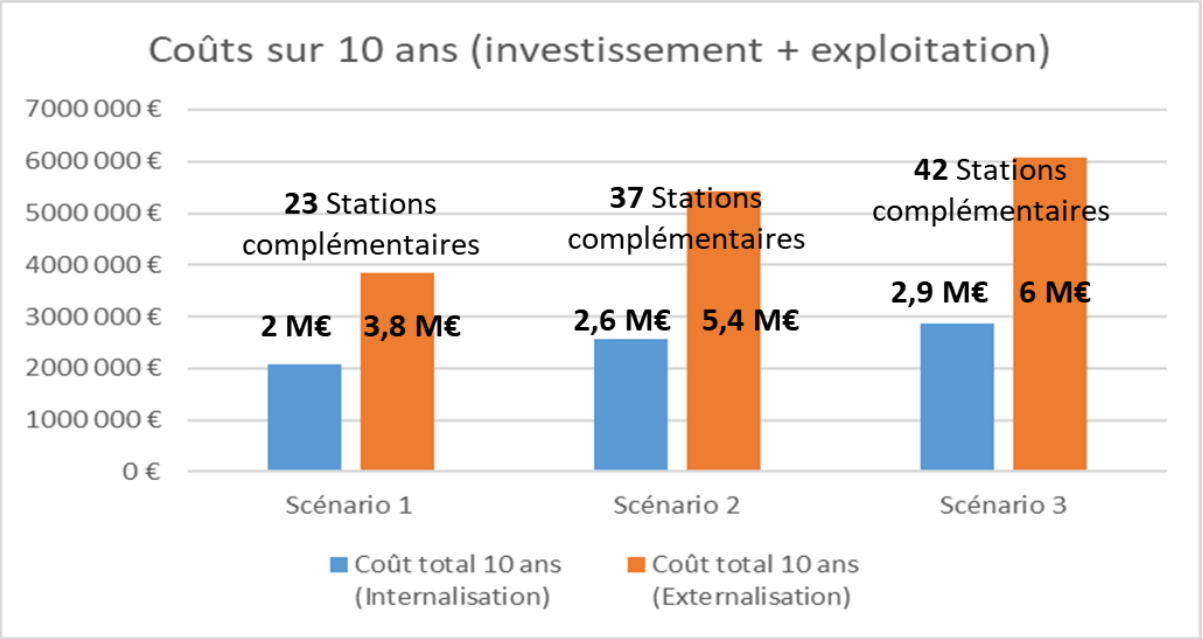


Figure 7 : Graphe des coûts sur 10 ans (investissement initial et exploitation), échelle SYMBHI, tous scénarios

Du fait de la typologie de station envisagée pour chacun des scénarios (station patrimoniale complète avec caméra et redondance énergie et transmission pour le scénario 1, abandon des redondances et des caméras de levée de doute pour les scénarios 2 et 3), les coûts d'investissement sont globalement équivalents pour les trois scénarios malgré l'augmentation du nombre de stations. Les coûts d'exploitation augmentent dans les différents scénarios en fonction des nombres croissants de stations. Finalement, les coûts s'échelonnent sur 10 ans entre 2 Millions d'euros et 6 millions d'euros en fonction des nombres de stations mais surtout de l'internalisation de la maintenance ou de son externalisation.

Le détail par scénario et par Unité Territoriale est présenté dans les tableaux suivants. Au-delà des estimations financières, les temps estimés pour la maintenance et l'exploitation du réseau sont fournis pour la partie internalisable ou externalisable et sont présentés sur le graphe suivant.

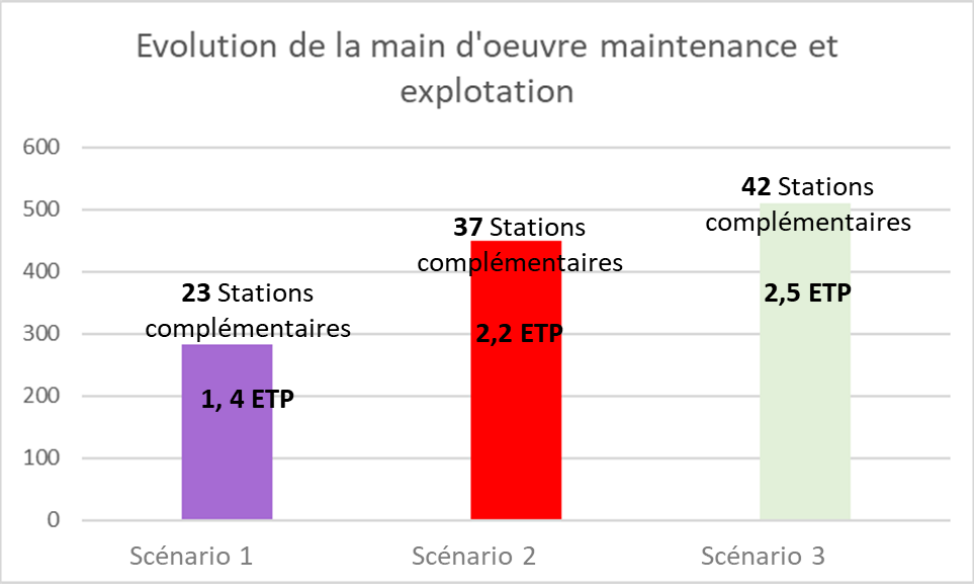


Figure 8 : Graphe des jours de maintenance et exploitation du réseau , échelle SYMBHI, tous scénarios

On note aussi dans le détail par UT que les besoins sont très nettement plus importants sur le Drac, le Grésivaudan et le Voironnais du fait des nombres importants d'ouvrages classés.

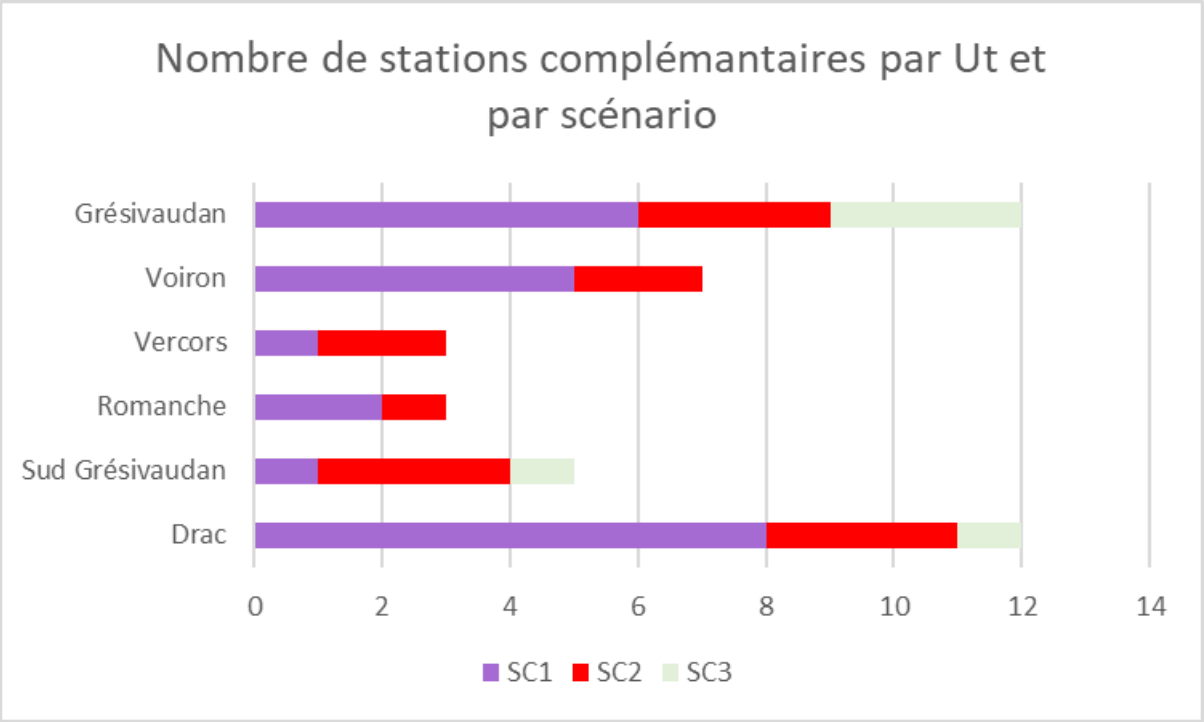


Figure 9 : Nombre de stations complémentaires par UT et par scénario

Tableau 13 : Récapitulatifs par scénario et par UT des coûts d'investissement et d'exploitation , maintenance .

	Scenario 1							
UT	Nbre stations	Investissement Stations (€ HT)	Maintenance annuelle interne (ETP j)	Maintenance annuelle coûts externes (€ HT))	Total maintenance annuelle coûts internes et externes)	Maintenance annuelle externalisation (€ HT)	Total Investissement + exploitation sur 10 ans (€ HT) si internalisation maintenance	Total Investissement + exploitation sur 10 ans (€ HT) si externalisation maintenance
Drac	8	205 497 €	97	18 760 €	47 860 €	115 760 €	636 237 €	1 247 337 €
Sud Grésivaudan	1	32 883 €	13	8 253 €	12 153 €	21 253 €	142 263 €	224 163 €
Romanche	2	66 767 €	25	9 860 €	17 360 €	34 860 €	223 007 €	380 507 €
Vercors	1	33 333 €	13	8 253 €	12 153 €	21 253 €	142 713 €	224 613 €
Voiron	5	122 435 €	61	14 120 €	32 420 €	75 120 €	414 215 €	798 515 €
Grésivaudan	6	176 523 €	73	16 007 €	37 907 €	89 007 €	517 683 €	977 583 €
TOTAL	**23**	**637 438 €**	**282**	**75 253 €**	**159 853 €**	**357 253 €**	**2 076 118 €**	**3 852 718 €**

	Scenario 2							
UT	Nbre stations	Investissement Stations (€ HT)	Maintenance annuelle interne (ETP j)	Maintenance annuelle coûts externes (€ HT))	Total maintenance annuelle coûts internes et externes)	Maintenance annuelle externalisation (€ HT)	Total Investissement + exploitation sur 10 ans (€ HT) si internalisation maintenance	Total Investissement + exploitation sur 10 ans (€ HT) si externalisation maintenance
Drac	11	184 033 €	133	21 020 €	60 920 €	154 020 €	732 313 €	1 570 213 €
Sud Grésivaudan	4	65 640 €	49	11 853 €	26 553 €	60 853 €	304 620 €	613 320 €
Romanche	3	50 180 €	37	10 567 €	21 667 €	47 567 €	245 180 €	478 280 €
Vercors	3	49 730 €	37	10 567 €	21 667 €	47 567 €	244 730 €	477 830 €
Voiron	7	95 295 €	85	15 513 €	41 013 €	100 513 €	464 415 €	999 915 €
Grésivaudan	9	128 135 €	109	18 167 €	50 867 €	127 167 €	585 935 €	1 272 635 €
TOTAL	**37**	**573 013 €**	**450**	**87 687 €**	**222 687 €**	**537 687 €**	**2 577 193 €**	**5 412 193 €**

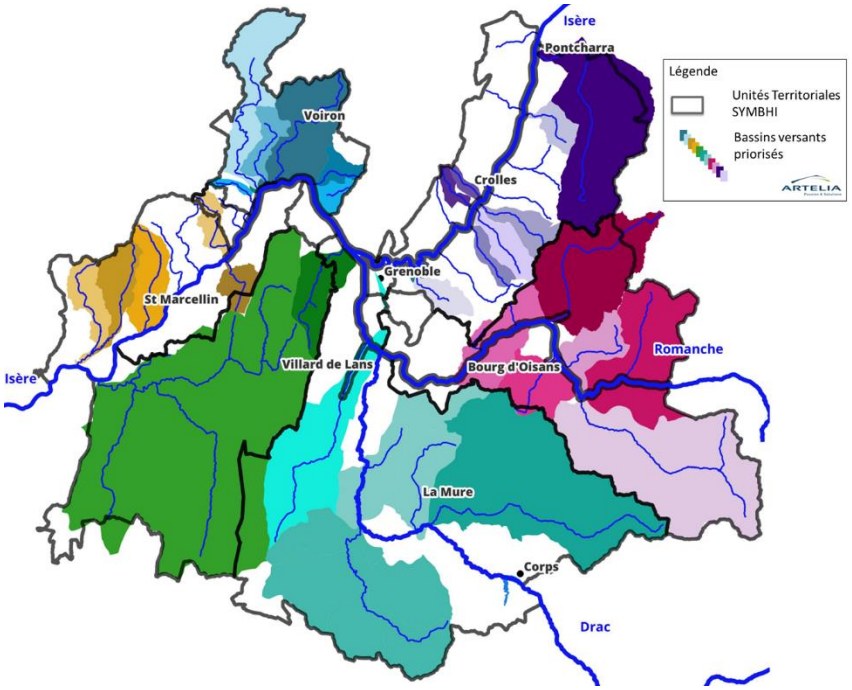
	Scenario 3							
UT	Nbre stations	Investissement Stations (€ HT)	Maintenance annuelle interne (ETP j)	Maintenance annuelle coûts externes (€ HT))	Total maintenance annuelle coûts internes et externes)	Maintenance annuelle externalisation (€ HT)	Total Investissement + exploitation sur 10 ans (€ HT) si internalisation maintenance	Total Investissement + exploitation sur 10 ans (€ HT) si externalisation maintenance
Drac	12	200 393 €	145	22 307 €	65 807 €	167 307 €	792 653 €	1 706 153 €
Sud Grésivaudan	5	78 550 €	61	13 100 €	31 400 €	74 100 €	361 150 €	745 450 €
Romanche	3	49 730 €	37	10 567 €	21 667 €	47 567 €	244 730 €	477 830 €
Vercors	3	43 580 €	37	10 487 €	21 587 €	47 487 €	237 860 €	470 960 €
Voiron	7	95 295 €	85	15 513 €	41 013 €	100 513 €	464 415 €	999 915 €
Grésivaudan	12	180 965 €	145	22 087 €	65 587 €	167 087 €	771 245 €	1 684 745 €
TOTAL	**42**	**648 513 €**	**510**	**94 060 €**	**247 060 €**	**604 060 €**	**2 872 053 €**	**6 085 053 €**

11. CONCLUSION

Le choix du SYMBHI reste à faire sur la base d'un scénario global ou bien de solutions « panachées » par site .

A noter que des solutions alternatives à des stations pérennes peuvent aussi être mobilisées au cas par cas :

- variante de type location (solution type VORTEX IO) au coût de 1 200 € HT par an,
- variante de type « station temporaire » mutualisée sur l'ensemble du SYMBHI ou par UT qui peut être déplacée sur un site différent au bout de quelques mois ou années dès que des acquisitions minimales de connaissance ont pu être réalisées (coûts d'une station compacte et coûts d'installation pour chaque site).



ANNEXES

ANNEXE 1 : NOTE METHODOLOGIQUE VERIFICATION DE CERTAINS DELAIS D'ANTICIPATION

ANNEXE 2 : SCENARIOS - UT GRESIVAUDAN

ANNEXE 3 : SCENARIOS - UT DRAC

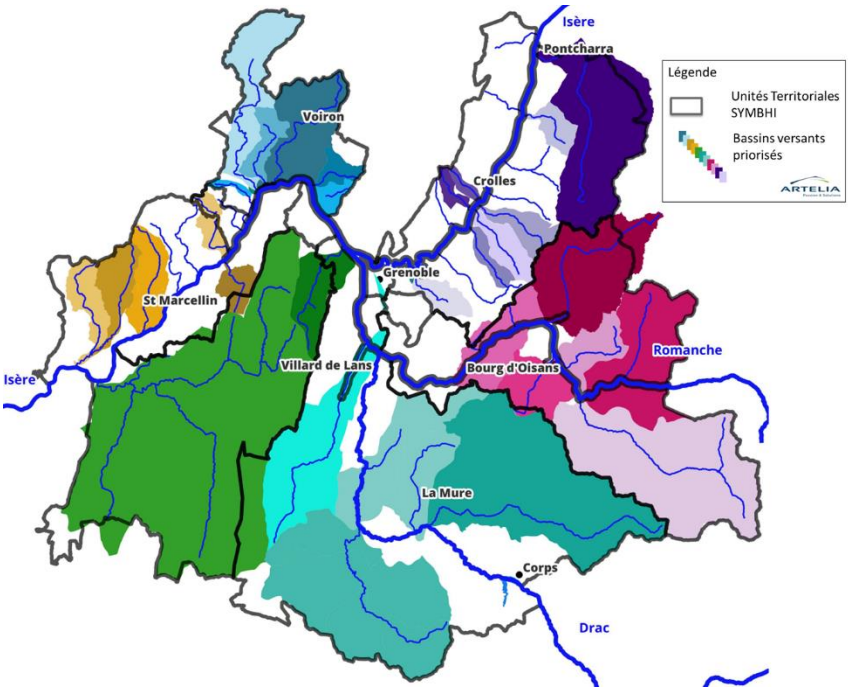
ANNEXE 4 : SCENARIOS - UT SUD GRESIVAUDAN

ANNEXE 5 : SCENARIOS - UT VOIRON

ANNEXE 6 : SCENARIOS - UT VERCORS

ANNEXE 7 : SCENARIOS - UT ROMANCHE

ANNEXE 8 : DISPOSITIFS EXISTANTS A INTEGRER DANS UN RESEAU SYMBHI



ANNEXE 1 : NOTE METHODOLOGIQUE : VERIFICATION DE CERTAINS DELAIS D'ANTICIPATION

Besoin général

Dans le cadre d'un réseau pour l'avertissement aux crues, le paramètre important est celui des temps de réaction et de concentration des écoulements à l'amont des principales zones à enjeux. De notre expérience, ces valeurs ne sont pas toujours disponibles dans les rapports hydrologiques et hydrauliques. Les hydrogrammes et temps de concentration sont souvent fournis en des points caractéristiques (exutoire, rupture de pente…) qui peuvent être éloignés des zones à enjeux.

Dans le cadre de notre offre, notre proposition était d'effectuer des analyses rapides pour compléter les caractéristiques hydrologiques déjà collectées, en particulier les temps de concentration estimés aux différents emplacements possibles recensés dans le cadre de la phase 1 afin de vérifier la détection anticipée des crues et vérifier le délai d'anticipation pour les enjeux exposés.

Dans ce cas, nous utilisons habituellement un panel de formules empiriques disponibles (voir liste ci-dessous) afin d'approcher au mieux les délais d'anticipation possibles, en association avec nos outils géographiques internes ARTELIA de détermination de bassin versant.

*Tableau 14 : Formules empiriques d'estimation des temps de concentration **(Tc)** proposées dans notre offre*

Méthode	***Paramètre***	***Domaine de validité***
Kirpich	Tc	sur des bassins versant de 0,4 à80 ha
Ventura-Passini	Tc	1 et 20 km² ou supérieur à 10 km² selon les ouvrages
Johnstone et Cross	Tc	
Sogreah	Tc	
Ven te Chow	Tc	bassins versants agricoles de 1 à 2 hectares
Ventura	Tc	milieu rural
Giandotti	Tc	milieu rural
Turraza	Tc	

ETAT DE L'ART DES ETUDES RECENTES

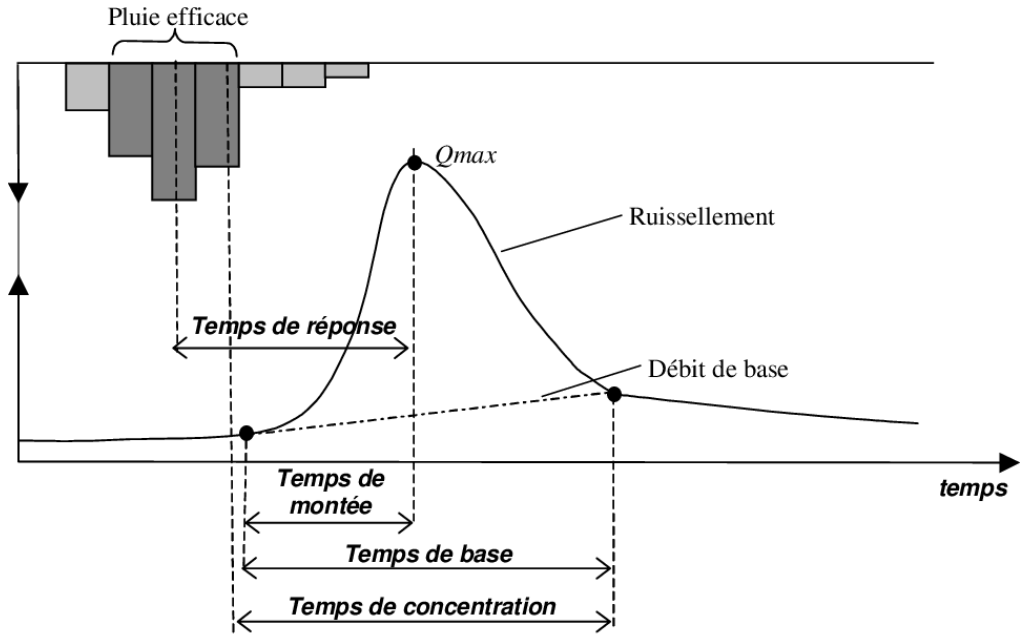
Le RTM a réalisé une étude d'« Evaluation du temps de montée des crues torrentielles rapides (2015) ». Cette étude a principalement permis de confronter les résultats de formules empiriques avec des observations hydrométriques principalement sur les Alpes et les Pyrénées.

Point important : De quelle durée avons-nous besoin ?

- **Temps de concentration tc** - Temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. On peut estimer tc en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface).

- **Temps de montée tm (ou time to peak tp)** - Temps qui s'écoule entre l'arrivée à l'exutoire de l'écoulement rapide (décelable par le limnigraphe) et le maximum de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface.

La figure suivante présente la différence entre ces deux notions de durée :



Source : Semantic Scholar

Le temps de montée qui sert à l'élaboration de l'hydrogramme de référence est déterminé en retenant habituellement un ratio du temps de concentration : 1/3, 2/3 ou 1x Tc selon les bureaux d'études.

L'étude réalisée par le RTM en 2015 a permis de mieux caractériser les temps de montée dans un contexte torrentiel en particulier dans les Alpes et les Pyrénées. Nous notons que le RTM utilise des caractéristiques autres que géomorphologiques telles que les caractérisations des pluies extrêmes locales (Coefficient de Montana, PJ10, Intensité de pluie…) et des modélisations hydrologiques pour définir les gradients de montée spécifique à chaque bassin. Dans le cadre de la présente étude, de telles analyses ne sont pas prévues ni même nécessaires de notre point de vue, pour les besoins propres de la mise en place d'un réseau de surveillance.

En se basant sur les analyses réalisées sur la base des paramètres physiques des bassins versants, nous retiendrons de cette étude (RTM, 2015) :

- La caractérisation d'une courbe enveloppe basse pour le secteur interne des Alpes :

*Tableau 15 : Formule des courbes enveloppe basse **(Tm)** pour le secteur interne des Alpes*

Dénomination	Formule	Surface du bassin versant
Courbe enveloppe en fonction de la surface massif alpes interne	$Tm = 0.077.S^{0.55}$	< 370 km²
	$Tm = 0.003.S^{1.10}$	> 370 km²
Variante	$Tm = 0.21.S^{0.35}$	< 150 km²

A noter que la plupart des bassins versants objets de l'étude présentent des surfaces très largement inférieures à 150 km^2

- L'estimation des temps de montée à partir des formules usuelles, en appliquant un ratio moyen obtenu entre les $T_{calculés}$ /Tm $_{observés}$ sur l'ensemble de l'échantillon d'hydrogramme analysé :

Méthode	Paramètre	Ratio $T_{Calculé}/Tm_{obs}$
KIRPICH	Tc	0.96
GIANDOTTI	Tc	1.87
TURRAZA	Tc	3.08
IZZARD-MEUNIER (bassin dégradé)	Tc	1.63
IZZARD-MEUNIER (bassin végétalisé)	Tc	3.03
SOGREAH (Dujardin)	Tc100	0.93
SCS (BV rapide)	Dr	1.37
DDE	Tc	1.87
WILLIAMS	Tm	0.89

NOTRE PROPOSITION METHODOLOGIQUE POUR ESTIMER LES DELAIS D'ANTICIPATION

Notre besoin est principalement de caractériser les délais de réponse des bassins versants au droit des enjeux identifiés lors de la phase 1. Pour valoriser au maximum les paramètres morphologiques sur les bassins versants à étudier, nous proposons de retenir les formules empiriques proposant un ratio de passage du Temps de Concentration au Temps de Monté par un ratio expertisé.

Ce choix est motivé pour pouvoir estimer un Temps de Montée. De plus, il sera intéressant de pouvoir estimer les courbes enveloppes basses pour borner les résultats obtenus et avoir une notion des temps minimums à considérer. Cela permettra de statuer sur le type d'instrumentation à mettre en place et la définition des seuils dans le cadre de la phase 2.

Synthèse des formulations que nous proposons d'utiliser pour l'estimation des délais d'anticipation :

Méthode	Paramètre[1]	
Kirpich	Tc	Tm
Giandotti	Tc	Tm
Turraza	Tc	Tm
Izzard Meunier (bassin dégradé)	Tc	Tm
Sogreah (Dujardin)	Tc	Tm
SCS (BV rapide)	Tm	
Courbe enveloppe en fonction de la surface Massif alpes interne	Tm	
Variante < 150 km²	Tm	
Courbe enveloppe de Marchi	T-Lag	
Courbe enveloppe de Creutin et al	T-Lag	

[1] Calcul par les formules empiriques des Temps de Concentration (Tc) puis passage aux Temps de Montée (Tm) par les ratios proposés par le RTM (2015).

Les résultats présentés pour chaque bassin versant seront :

Abréviation	Description
Tc min	Temps de concentration minimum obtenu avec les formules empiriques
Tc moyen	**Temps de concentration moyen obtenu avec les formules empiriques**
Tc max	Temps de concentration maximum obtenu avec les formules empiriques
Tm min	Borne basse obtenue avec les courbes enveloppes
Tm moyen	**Temps de montée moyen obtenu avec les formules empiriques**
Tm max	Temps de montée maximum obtenu avec les formules empiriques

Le calcul sera réalisé au droit des stations de mesure proposées (et non aux exutoires des bassins versants).