

PROJET DE CREATION D'UN SITE ATELIER AU SEIN DU GIS ZABR POUR LES RIVIERES CEVENOLES (SA-ZABR-RC)

Mots clés :

Climat et écosystèmes méditerranéens ; phénomènes hydroclimatiques extrêmes : crue éclair et sécheresse ; ressource en eau ; changements globaux ; bassin versant mixte : socle et karst ; bassin versant à hautes énergies : températures, précipitations, pentes ; trajectoires sociétales et résilience ; diversité paysagère, sites touristiques remarquables ; gouvernance territoriale.

Animateurs du site : Anne Johannet (LGEI-EMA), Philippe Martin (UMR 7 300 ESPACE –Université d'Avignon) et Frédéric Paran (UMR 560 EVS – GSE-EMSE)

Synopsis : contexte, problèmes et enjeux

	Rivières cévenoles
Spécificités	Bassins versants méditerranéens et de moyennes montagnes, fortement anthropisés, hautement touristiques, à hautes énergies et étiages sévères, glyptogenèse archétypale
Biologie	Échanges génétiques (espèces invasives) avec le confluent Cycle/flux de nutriments et effet de la morphologie des rivières Cyanobactéries, biodiversité hyporhéique, poisson (apron)
Eau	Tensions : besoins ou demandes naturelles et anthropiques au regard de l'offre et de sa variabilité Criticité des basses eaux (CBE) Régimes hydrologiques contrastés (crues/étiages ; amont sur socle/aval karstique, distance à la mer faible) Connectivité amont/aval Relations ESO/ESO, entre aquifères superficiels et profonds
Sédiments	Effet des reboisements, remontée biologique : ETR forte, Charges dissoute, solide : glyptogenèse, érosion des dépôts alluviaux anthropiques Morphologie des vallées, lits, talwegs (terrasses, bed rock)
Polluants	Ancienneté des extractions minières (métaux lourds, minéraux, charbon) Situation ancienne : stock, rémanence, décroissance Intrants actuels : eaux usées, polluants agricoles, lessivas...
Sciences de l'Homme et de la Société	Espace patrimonial : Parc national des Cévennes, Pont du Gard, Grotte Chauvet... Conservation : valorisation / dévalorisation du patrimoine Désindustrialisation (mine, chimie...) / réindustrialisation Développement touristique : eaux ludiques, pêche Modifications des pratiques agroenvironnementales Perception des rivières / représentations, image Éthique et esthétique
Changement climatique	Forçages, sévérité, exacerbation du climat méditerranéen Conséquences : ressources en eau, activités, risques
Gestion territoriale	Résilience / pressions / vulnérabilités / géogouvernance / développement / attractivité

Site atelier : rivières cévenoles

La zone atelier :

Trois bassins versants :

- l’Ardèche,
- la Cèze,
- le Gardon

Quatre thématiques :

- *Caractéristiques des bassins versants de ces rivières* (Domaine méditerranéen, évolutions des bassins versants, karst, flux de sédiments...)
- *Interactions sociales et gouvernance* (Utilisation des sols et conflits d’usages, relations entre élus et acteurs, pollutions...)
- *Effets des changements climatiques* (Mesures et observations, températures, débits, sécheresse...)
- *Processus écosystémiques* (Épuration, ressource en eau, stockage, biodiversité, facteurs de contrôle de la régulation des services...)

Une approche intégrant plusieurs disciplines :

- climatologie, géographie (physique et humaine)
 - hydrologie, hydrogéologie
 - écologie/biologie,
 - sociologie, anthropologie, histoire...
-

I. INTRODUCTION : CONTEXTE ET ENJEUX, DIMENSION SPATIALE

Le GIS ZABR s’est élargi institutionnellement en 2013 (passage de quatorze établissements à vingt et un ; de dix équipes membres à douze équipes membres et huit associées ; introduction de nouveaux partenaires institutionnels : PACA, région Languedoc-Roussillon, etc.) et extension territoriale vers l’aval de la vallée du Rhône et le sud du bassin versant, lequel est particulièrement marqué par les problématiques des rivières cévenoles de rive droite (crues cévenoles, occupation industrielle ancienne, forte attractivité touristique, problèmes de ressources en eau, etc.), mais que l’on retrouve partiellement dans les bassins de rive gauche globalement beaucoup plus sédimentaires et karstiques (Sorgues, Fontaine de Vaucluse, Ouvèze, etc.), à l’exception de la Durance.

Cette ouverture et extension conduit à deux impératifs, à deux axes de travail initiaux : d’une part, à synthétiser et à regrouper ce qui existe en termes de réseaux de mesures, d’équipes en place, de groupes de recherches diverses et variés, d’intervenants en rapport avec

les acteurs locaux, etc., mais aussi, d'autre part, à revoir, repenser, redéfinir les questions de recherche, les problématiques en débats, etc.

Dans cette perspective il est tout à fait logique que se cristallise un outil organisationnel qui puisse faire le lien entre les acteurs de ces territoires, avant de promouvoir de nouvelles questions, de nouvelles réflexions en phase avec la demande sociale, avec l'adaptation que connaissent (ou que subissent ?) ces territoires, en particulier en rive droite du Rhône, mais pas seulement.

À cette fin la ZABR a l'opportunité de se doter d'un site atelier qui serait piloté et animé par des responsables de trois des principales équipes (UMR ESPACE multisites (Avignon, Aix-Marseille et Nice), l'équipe LGEI de l'École des Mines d'Alès et le département GéoSciences et Environnement « GSE – UMR 5600 EVS » de l'École des Mines de Saint-Etienne), qui œuvrent déjà, en rive droite, dans la basse vallée du Rhône, parfois depuis des dizaines d'années.

Il s'agit donc d'articuler et de fédérer des compétences de façon à privilégier des approches interdisciplinaires que la dimension aréolaire des bassins versants impliqués (Ardèche, Cèze, Gardon) devrait favoriser, car si la définition du SA-ZABR-CR en devenir est thématique (cf. ci-dessous), elle est aussi géographique.

Les trois bassins qui définissent le site atelier : Rivières cévenoles en projet ont de forts traits en commun, mais aussi de profondes différences. En commun ils ont d'être des affluents méridionaux de rive droite du Rhône qui prennent leur source dans les Cévennes, vaste barrière orographique nord-nord-est sud-sud-ouest qui arrête les flux provenant du sud, de la Méditerranée. Les très forts débits, souvent automnaux, induits par ces pluies orographiques (épisodes cévenols) ou méditerranéennes (systèmes convectifs de méso-échelles), traversent ensuite en gorge les bas plateaux karstiques avant de se perdre dans le Rhône. Ces bassins ont aussi en commun d'être baignés par un climat méditerranéen d'autant plus aride et chaud que nous nous situons plus au sud et loin des Cévennes.

Ils sont par contre différents par leurs dimensions (1 360 km² pour la Cèze, 2 014 km² pour le Gardon et 2 430 km² pour l'Ardèche), ainsi qu'au regard de l'occupation humaine (le bassin versant de la Cèze compte 77 000 habitants (densité de 57 ha/km²), principalement à l'aval, au plus près du Rhône, contre 170 000 habitants pour les Gardons (densité de 88 ha/km²), avec le grand centre urbain d'Alès à la limite du piémont et 112 000 habitants sur le bassin de l'Ardèche (densité de 46 ha/km²). Faut-il ainsi rappeler l'ancienneté et l'importance de l'exploitation minière à Alès (même si des « grattages » ne sont pas exclus ailleurs), mais peut être surtout, pour le Gardon, la présence de villes importantes à proximité (Nîmes, 240 000 habitants dans l'agglomération) ou dans le bassin (Alès, 88 000 habitants dans l'agglomération), alors que la Cèze est, elle, fort peu densément peuplée. Faut-il encore souligner l'attractivité exceptionnelle des gorges de l'Ardèche et de son patrimoine préhistorique qui ne se comparent pas aux gorges du Gardon ni à celles bien modestes de la Cèze.

Cette définition géographique permet en outre une meilleure articulation avec les partenaires opérationnels (SMAGE des Gardons, Syndicat AB-Cèze et Ardèche claire, etc.) qui sont organisés en fonction des bassins versants en accord avec la loi sur l'eau. Ceci conduit à avoir les moyens d'améliorer les pratiques de gestion en particulier lors de phases particulières (crues rapides, situation de basses eaux critiques).

Cette zone faisant l'objet d'études anciennes et bénéficiant d'un réseau de mesures hydrologiques relativement dense a été pour partie intégrée dans des réseaux de recherche nationaux (OHM-CV, RBV...) et européens (LTER, HYMEX). Cela étant la cohérence tant

territoriale que thématique de ces réseaux de mesures n'est pas totale dans la mesure où la coordination se faisait certes entre équipes, mais au coup par coup au niveau des chercheurs sur la base d'affinités particulières et de reconnaissances mutuelles, mais qui restent conjoncturelles donc fragiles. On attend donc un effet structurant et peut être surtout une augmentation de la résilience du système de connaissance de la création d'un site atelier pour les rivières cévenoles. Cela pourra se faire dans un premier temps en évitant la perte potentielle de données, en développant une bancarisation qui respecte certes les ayants droit, mais qui débouche aussi sur une mise à disposition aussi large que possible des informations collectées ; les données pouvant être tracées par des DOI par exemple.

L'existence de structures de recherche comme l'Observatoire Hydrologique Méditerranée-Cévennes-Vivarais (OHM-CV) avec lesquelles bon nombre des chercheurs œuvrant dans ces bassins travaillent déjà, devra conduire à une concertation à mettre en place lors des premières années pour pouvoir travailler en symbiose et en synergie et pas en concurrence sur quelques thématiques déjà investiguées. Ceci impliquera donc de définir de nouvelles questions, comme la Criticité des Basses Eaux (CBE) sur laquelle travaille ESPACE depuis quatre ou cinq ans, qui soient relativement neuves et peu chevauchantes avec ce qui se fait déjà par ailleurs.

II. ENJEUX SCIENTIFIQUES ET ACTIONS : CONTRIBUTION AU SCHEMA THEORIQUE DE LA ZABR

Le schéma 1, présenté en fin de rapport, propose une organisation des enjeux scientifiques identifiés sur le territoire du site : Rivières cévenoles. Ces enjeux sont fortement liés aux spécificités, aux contraintes, aux forçages et à l'historicité qui marquent ce territoire d'un point de vue géologique, géographique, climatique et humain (voir partie gauche du schéma). Au centre du schéma, les enjeux résultants sont organisés selon les cinq types de flux identifiés dans le schéma conceptuel de la ZABR pour décrire l'interaction entre l'environnement et la société.

On observe que chaque flux contient plusieurs entrées spécifiques au site : Rivières cévenoles qui contribueront potentiellement à l'enrichissement thématique du schéma théorique de la ZABR : biologie (ex : échanges génétiques, cycle de nutriments), eau (ex : tension besoin/demande, criticité des basses eaux, crues), sédiments (ex : effet des reboisements, charge dissoute et solide), polluants (ex : situation ancienne, intrants actuels), social (société) et développement territorial (ex : patrimoine, développement touristique...).

Deux tableaux, en fin de document, mettent en regard les entrées spécifiques au site Rivières Cévenoles, sur les cinq types de flux identifiés par la ZABR, et celles des autres sites ZABR (Tableau 1) et des observatoires (Tableau 2).

Au final, ce schéma et ces deux tableaux montrent que le potentiel du site : Rivières cévenoles est important en termes d'enjeux scientifiques. D'une part, ces enjeux couvrent potentiellement l'ensemble des entrées du schéma conceptuel de la ZABR. D'autre part, ils sont originaux, du fait des spécificités du site : Rivières cévenoles, par rapport aux autres sites et observatoires, et donc complémentaires.

On note un fort potentiel pour l'entrée « Sciences de l'Homme et de la Société » et d'importantes sorties opérationnelles potentielles en termes de gestion. De plus, la partie droite de la figure 1 met en avant les enjeux scientifiques et besoins en connaissances forts identifiés sur le site : Rivières cévenoles. Les quatre principaux sont les suivants :

Site atelier : rivières cévenoles

- Prévoir et gérer la tension sur la ressource en eau
- Santé et structuration des écosystèmes (marqueurs)
- Facteurs de contrôle des services écosystémiques
- Dynamique des populations piscicoles et effets des assècs sur les organismes et populations

III. EXPRESSION DE LA PLURIDISCIPLINARITE

Les rivières cévenoles possèdent des spécificités fortes, qu'elles soient climatiques, géologiques, écologiques ou humaines, qui permettent d'adresser des questions de recherche originales, pour le bassin du Rhône, et elles pourraient donc constituer un nouveau site atelier de la ZABR, qui regrouperait l'Ardèche, la Cèze et les Gardons.

Les questions de recherche pouvant être abordées sur ce site atelier relèvent de quatre principaux domaines : les effets des changements climatiques, les caractéristiques environnementales contrôlant le fonctionnement des cours d'eau, les interactions entre rivière et société et enfin, les processus écosystémiques dominants.

Ces travaux devront être réalisés en étroite collaboration avec les gestionnaires locaux (SMAGE des Gardons, AB-Cèze, Parc National des Cévennes, Ardèche Claire, Syndicat des gorges du Gardon ...)

III.1. QUATRE THEMATIQUES EN COURS DE CONSTRUCTION

I. QUELS EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR CES RIVIERES MEDITERRANEENNES ?

Ces trois rivières sont caractéristiques de l'aire méditerranéenne et devraient être particulièrement sensibles aux futurs changements climatiques. Il existe déjà sur ces trois cours d'eau une importante instrumentation, gérée par plusieurs laboratoires de la ZABR et observatoires (DREAL, SPC Grand Delta...) de bassins versants (principalement des mesures du niveau d'eau et de températures) qui pourrait constituer un élément essentiel pour documenter ces changements à long terme.

Une longue tradition de mesures et d'observations (hydroclimatiques, anthropologiques, sociales...) permet de disposer d'archives non encore complètement inventoriées et exploitées.

Par ailleurs, une connaissance, tant de la demande en eau et de sa croissance, que de la capacité des hydrosystèmes à y répondre pourrait permettre de mieux appréhender les tensions en situation de basses eaux.

Une attention particulière sera apportée aux modifications des débits extrêmes, aussi bien pour les crues que pour les étiages. La prise en compte de la sévérité des étiages est plus récente, elle doit être mise en perspective avec l'augmentation de la demande en eau et pourrait conduire à des risques grandissants d'assèchement. Il conviendra aussi de s'intéresser aux variations interannuelles de l'écoulement de ces cours d'eau, aux événements hydrologiques rares et à leurs décalages temporels dans le cycle annuel.

2. QUELLES CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES CONTROLENT LEUR FONCTIONNEMENT ?

Ce nouveau site atelier permettra en particulier d'étudier l'influence de la succession de contextes géologiques différents, se répétant de manière sensiblement identique sur les trois bassins : socle cristallin en amont, systèmes karstiques en aval, et confluence avec le Rhône.

Dans ce contexte, il convient de comprendre l'importance de ces systèmes karstiques pour le fonctionnement de ces cours d'eau. Pour cela il convient d'étudier à la fois le fonctionnement hydrodynamique des karsts eux-mêmes (drainage vers les gorges), ainsi que les relations entre les rivières et les aquifères profonds (Messinien) qui pourront être précisées en utilisant des stratégies originales comme l'imagerie infrarouge ou des traceurs chimiques de l'origine de l'eau. L'augmentation des surfaces boisées dans le bassin versant contribue aussi à modifier le fonctionnement hydrochimique des systèmes karstiques, cela devra donc être pris en compte.

Une autre caractéristique environnementale essentielle à la compréhension du fonctionnement de ces systèmes est leur connectivité amont-aval, que ce soit du point de vue des écoulements, des transferts sédimentaires et des déplacements de la faune aquatique. Les études de cette connectivité longitudinale devront prendre en compte le possible rôle fonctionnel des échanges avec le Rhône (échanges génétiques entre populations de poissons, apport d'espèces invasives...).

Enfin, le tarissement des flux de sédiments transitant dans ces hydrosystèmes (là encore en lien avec le reboisement massif de leurs bassins versants) devra être considéré, car il induit une réduction très forte des volumes d'alluvions présents et modifie la nature et l'étendue spatiale des habitats aquatiques (flore, faune).

Ces bassins apparaissent ainsi largement soumis à une glyptogénèse intense en raison de leur exposition à des processus de haute énergie liés aux fortes précipitations, à l'importance des pentes, à l'ampleur du couvert végétal et à une distance à la mer relativement faible. Il en résulte d'une part une érosion linéaire produisant une morphologie archétypale à l'amont dans les Cévennes (Serres...) et d'autre part un transit alluvial rapide qui ramène les fonds de vallées progressivement à une situation antérieure vraisemblablement à la romanisation, comme le déchaussement des piles du Pont du Gard le montre très bien à l'aval des gorges du Gardon.

3. QUELLES INTERACTIONS SOCIETALES DANS LES BASSINS VERSANTS ? QUELLE GOUVERNANCE ?

Les rivières cévenoles subissent des pressions d'origine anthropique depuis plusieurs siècles. Ces pressions anciennes, en particulier industrielles, peuvent être abordées par la documentation existante (données hydrométéorologiques et statistiques économiques depuis plus d'un siècle), le patrimoine historique (aménagements hydrauliques anciens) et par des reconstitutions basées sur la mémoire des riverains. Ces souvenirs, en équilibre entre oubli et transmission, permettent de s'interroger sur les éléments qui entrent ou non dans le patrimoine. Quels héritages sont mis en valeur par les acteurs et quels éléments culturels sont au contraire peu valorisés ?

Ces changements sont consécutifs à la désindustrialisation de cette région qui est passée d'activités extractives et industrielles (charbon, granulats, métallurgie...) à des activités liées au tourisme, induisant des modifications sociales et paysagères de ces territoires qu'il faut étudier avec précision. Cette histoire a marqué ces trois rivières et certains de leurs

affluents (Gagnère, Luech, Chassezac...), en particulier par une pollution des eaux et des sédiments. Il convient de rechercher les traces de ces paléo-pollutions et de préciser leurs influences actuelles sur la santé des écosystèmes. Plus récemment, l'apparition d'espèces invasives constitue une nouvelle perturbation des systèmes. Leur origine, leurs modes de transport (comme les sports d'eau vive) et leurs conséquences écologiques nécessitent d'être étudiés.

Actuellement, une tendance forte des relations entre les sociétés et ces rivières est sans doute liée à l'augmentation de la demande et à l'exploitation de la ressource en eau. Il convient d'en préciser et d'en quantifier les causes : augmentation du tourisme, nouveaux équipements consommateurs d'eau, croissance des populations humaines par migration induisant un changement de la composition des groupes sociaux, changement des pratiques agricoles. Ces dernières évolutions, à étudier en elles-mêmes (déprise et intensification agricole et urbanisation des espaces agricoles), exacerbent les concurrences existantes pour la ressource en eau. L'augmentation de l'exploitation de la ressource en eau induit parfois des transferts d'eau entre bassins versants (depuis le bassin de la Loire) ou entre sous-bassins d'une même rivière (cas de l'Ardèche) dont les conséquences doivent être étudiées.

Par ailleurs, tant l'intérêt que les usages du patrimoine hydraulique familial et local (citerne, lavogne, lavoir, tancat, béal, paissière...) sont souvent perdus (disparition des savoirs traditionnels, dégradation des équipements).

Cet ensemble d'interactions entre les sociétés et les rivières cévenoles doit nous conduire à étudier la gouvernance de ces territoires, et en particulier de mieux connaître les relations existant entre les élus et l'ensemble des acteurs concernés. Les Gardons représentent de ce point de vue une situation exemplaire. De même, il conviendrait de s'interroger sur les relations entre élus et scientifiques, du fait de leurs collaborations déjà anciennes. Comment s'organisent-elles et comment vont-elles évoluer ? Enfin, existe-t-il des spécificités patrimoniales communes à ces trois cours d'eau ? Existe-t-il des pratiques spécifiques (pêche chasse, cuisine...) qui font de ces cours d'eau un élément majeur de ces territoires ?

4. QUELS SONT LES PROCESSUS ECOSYSTEMIQUES DOMINANTS ET COMMENT SONT-ILS PERTURBES ?

Les compartiments benthiques et hyporhéiques des cours d'eau et la faune qu'ils hébergent, sont essentiels dans le fonctionnement de l'écosystème (recyclage de la matière organique, source de nourriture pour les poissons) et constituent aussi de bons marqueurs de l'état de santé des systèmes. Une attention particulière leur sera donc portée.

Pour le compartiment benthique, il convient de s'intéresser à la relation entre la morphologie de ces rivières, les flux de nutriments et la croissance des communautés microalgales. Ces communautés peuvent héberger des cyanobactéries, sources potentielles de substances toxiques. Il serait donc intéressant de mettre au point des méthodes et des stratégies permettant une estimation de la toxicité globale de l'eau de ces cours d'eau en période estivale, par exemple par l'utilisation de biocapteurs (microcystine). Les invertébrés benthiques sont des acteurs importants du fonctionnement du système. Leurs réponses à la variabilité des débits (en particulier aux étiages sévères) permettront d'éclairer leur plasticité hydrodynamique et thermique, ainsi que leur capacité à répondre aux assèchements. Ces organismes aideront à préciser la vulnérabilité des communautés de ces rivières méditerranéennes à l'ensemble des pressions qu'elles subissent, qu'elles soient physiques, chimiques et biologiques (espèces invasives).

Le compartiment hyporhéique de ces trois cours d'eau reste mal connu. Il conviendra de rechercher dans la faune souterraine (ou stygofaune) qu'ils hébergent, des marqueurs de

biodiversité et du fonctionnement des cours d'eau eux-mêmes, mais aussi des systèmes karstiques qui les entourent. Des informations originales pourront être recherchées dans la diversité génétique de cette stygofaune.

De manière plus globale, il convient de mieux préciser le fonctionnement de ces écosystèmes. Il faut par exemple, mieux connaître quelles sont les sources d'énergie, de matière organique assurant la structuration des réseaux trophiques et leur efficacité à transformer l'énergie en organismes de bout de chaîne (régime trophique des invertébrés et productivité de l'Apron, par exemple). Dans ces réseaux, la diversité des groupes fonctionnels semble essentielle à mieux connaître pour pouvoir cerner les changements de fonctionnement de ces cours d'eau (pressions hydrologiques et thermiques, pressions liées aux prélèvements d'eau et au tourisme).

Enfin, il convient de se pencher avec attention sur les discours tenus par les usagers (élus, riverains, touristes...) sur ces rivières, leur état de santé, les problèmes qu'elles rencontrent et la perception que l'on peut en avoir. Au-delà de cette perception, ce sont les services écosystémiques rendus par ces cours d'eau qu'il convient de mieux connaître, en précisant les facteurs de contrôle et pour certains, comme le tourisme, en les quantifiant.

III.2. CHERCHEURS ET EQUIPES IMPLIQUES

Le tableau 3 recense les équipes impliquées sur le secteur des rivières cévenoles. Il positionne les compétences de chaque équipe par rapport aux quatre grandes thématiques pressenties. On observe que chacune d'elles relève du domaine de compétences de plusieurs équipes.

TABLEAU 3 : ÉQUIPES IMPLIQUEES ET DOMAINES DE COMPETENCE

Axes ZABR-RC	Changement climatique et rivières méditerranéennes	Caractéristiques environ.	Interactions sociétales – gouvernance	Processus écosystémiques
AMU IMBE				X
AMU LPED			X	
Archéorient			X	
EDYTEM	X	X		
EMA-LGEI	X	X	X	
EMSE-GSE – UMR 5600 EVS	X	X		
ESPACE	X	X	X	
IRSTEA	X	X		X
LEHNA UMR 5023		X		X

III.3. MODALITES ORGANISATIONNELLES

Le problème essentiel du SA-ZABR-RC c'est d'être à la fois attractive pour différents projets et d'être proactif pour faire émerger des thématiques de recherche nouvelles autour de partenaires anciens et/ou nouveaux.

Ceci implique d'atteindre un certain niveau de qualité dans le support proposé et en particulier de maintenir le niveau de qualité dans les mesures effectuées. Sur cette base il est alors possible de développer un environnement crédible pour de nouvelles recherches. On peut donc, d'une certaine façon, envisager le SA-ZABR-RC en voie de cristallisation comme

un observatoire, mais qui n'est pas officiellement reconnu comme tel, et comme un potentiel de services rendus sur le terrain sans lesquels bien des recherches ne pourraient voir le jour, en particulier de la part de chercheurs situés loin des bassins versants opérés. ESPACE apporte par exemple un support local à des chercheurs de l'Institut de physique du globe de Paris.

Cette alchimie entre des actions récurrentes, des sollicitations allogènes et des recherches propres en rapport avec les acteurs locaux n'est pas évidente à mettre en œuvre et il faut bien avouer que nous n'avons pas encore les outils conceptuels et techniques pour articuler au mieux ces dimensions. Ce sera une des premières tâches à aborder.

IV. OBSERVATIONS ET ACTIONS DE RECHERCHES PASSEES ET EN COURS

IV.1. OBSERVATIONS ET OBSERVATOIRES

Sur le territoire du site : Rivières cévenoles préexistent plusieurs des structures d'observation ou observatoires : 1) ESPACE, 2) OHM-CV ; 3) SNO Karts (incluant Medycyss « Observatoire Karstique ») ; 4) RVB (Réseau de bassins versants). Ces structures disposent pour certaines d'un recul d'une trentaine d'années concernant le recueil de données. Une partie de ces travaux est en lien avec les recherches initiées sur le mont Lozère par les géologues d'Orléans dans les années quatre-vingt, reprises ensuite en géographie par l'URA 903 d'Aix-en-Provence, puis par l'UMR ESPACE 7300 du CNRS.

Le tableau 4 met en regard les entrées spécifiques du site Rivières Cévenole sur les cinq types de flux identifiés par la ZABR et celles des autres observatoires existant dans le secteur géographique. Ces observatoires sont les suivants :

L'UMR **ESPACE**, équipe qui porte la mémoire des travaux réalisés en Cévennes depuis les années quatre-vingt, dispose des chroniques de niveau recherche certainement les plus longues du secteur. Elle gère actuellement, entre stations pérennes et temporaires, stations hydrométriques et hydrochimiques, stations de surface et stations endokarstiques, etc. un réseau de plus de cinquante lieux de mesures qui devrait dans l'année être largement étendu pour accroître l'information disponible sur les basses eaux (programme : criticité des basses eaux –CBE–). Pour ce faire elle dispose, sur place, à St Christol-les-Alès, d'une équipe technique dirigée par un ingénieur CNRS de quatre personnes appuyée par des personnels en poste à Avignon (direction scientifique) et à Nice (direction administrative). ESPACE a pour but de produire des mesures hydrologiques, de niveau recherche, et des modèles territoriaux, capables de contribuer à la compréhension, tant des crues cévenoles que des tensions sur les basses eaux, en particulier dans le bassin versant du Gardon et de la Cèze. Sa démarche est aréolaire et multidimensionnelle (homme – milieu) et vise à comprendre les phénomènes physiques relevant des sciences de la terre comme des caractéristiques de ces territoires historiquement spécifiques et potentiellement appelés à une évolution rapide (accroissement de la population) que les aménagements territoriaux effectués depuis des siècles (Pont du Gard, mines, reforestation...) modifient en retour (évolution de l'occupation et des usages du sol, augmentation de la demande en eau...). Pour atteindre ces objectifs, ESPACE, au travers de multiples conventions depuis des dizaines d'années, a noué un partenariat très fort avec les acteurs locaux de la partie sud du site Rivière Cévenoles (Parc national des Cévennes, SMAGE des Gardon, Syndicat AB-Cèze...). Tout ceci constituera donc un très fort point d'appui pour un site atelier : Rivières cévenoles.

L'**OHM-CV** est dédié à la compréhension, aux suivis et à la prévision des événements pluvieux extrêmes et des crues intenses et crues éclairs. Il travaille sur les processus météorologiques et hydrologiques et assure l'acquisition de données hydrométriques (ex. : radar pour la pluie). Il propose en sortie des éléments concernant la spatialisation des risques, l'impact des crues sur la société et des comportements en temps de crise (modélisation opérationnelle et prospective – alerte, vulnérabilité, communication, mobilité).

Le **RBV** (Réseau de bassins versants) est un réseau de quinze observatoires dont fait partie l'OHM-CV, mais aussi Drex-Bléone, Médyccys, Fontaine de Vaucluse et SNO Karst (voir ci-après). Il est dédié à la compréhension de la zone critique sur de petits bassins-versants. Il assure lui aussi un suivi et des mesures hydrométriques, climatologiques, géologiques, usage des sols, flux polluants et propose un portail de métadonnées.

Le **SNO Karst** est dédié à l'étude des transferts en milieu karstique (eau et matières en suspension) et du lien structure/écoulement. Il assure lui aussi des mesures et possède une base de données. Il propose une boîte à outils d'analyse du signal et de modélisation. Il conduit par ailleurs des études en microbiologie.

IV.2. ÉTUDES PASSES ET EN COURS

Plusieurs actions de recherche sont en cours dans ces bassins versants. Pour mémoire on peut noter :

– l'ANR FloodScale (IRSTEA, LTHE...) qui fédère les acteurs travaillant autour des crues éclairs et finance la thèse d'Olivier Le Bourgeois (2015);

– l'axe de recherche sur la Criticité des Basses Eaux (CBE) de l'UMR ESPACE qui a pour vocation de développer avec les acteurs locaux en particulier (AB-Cèze, SMAGE des Gardons...) une réflexion sur la montée en tension des territoires soumis à de potentiels problèmes de ressources en eau au regard de la demande sociale ; ce programme est développé autour d'une thèse allocataire moniteur MRST (Ingrid Canova) sur la criticité des basses eaux en zone méditerranéenne, de mémoires de master sur les basses eaux de la Fontaine de Vaucluse (2013-2015) comme site emblématique d'une mémoire régionale plus ou moins quantifiée de situations de tensions sur la ressource en eau et de travaux sous conventions pluriannuelles avec les acteurs locaux (une attention particulière commençant à être portée sur les gorges du Gardon (campagne ESPACE – EMA de l'été 2014) ;

– le programme de recherches ZABR/AE-RMC intitulé « Caractérisation des échanges entre Karst et Rivière – Cas d'un affluent du Rhône, la Cèze au niveau du plateau karstique de Méjannes-le-clap » (2013-2016) mené sur la Cèze est piloté par l'École des Mines de Saint-Etienne. Ce projet est accompagné par les travaux de thèse en cours de Hervé Chapuis à l'École des Mines de Saint-Etienne prévus sur la période 2013-2016 et intitulés « Échanges thermiques et hydrauliques dans les hydrosystèmes – application au karst ». Ces travaux pourraient être prolongés par l'ANR NAPRIV déposée à l'automne 2014 ; ce projet a permis de mobiliser plusieurs stages de M2 à l'EMA et ESPACE en 2014 et 2015.

– le programme de recherches ZABR/AE-RMC intitulé « Résilience des cours d'eau intermittents : influences des patrons spatiaux d'assèchement sur la Cèze, l'Ibie et le Seguisso

piloté par l'Irstea Lyon. En parallèle, un projet de restauration le Chassezac, affluent de l'Ardèche, est en cours de préparation ;

– le programme de recherche endokarstique du laboratoire EDYTEM sur l'Ardèche (grotte Chauvet, aven d'Orgnac, mesures *in situ*...);

– programme LIFE piloté par le CREN sur le lien entre tourisme et biodiversité.

– les actions liées à l'aléa inondation principalement à l'EMA. On peut citer la prévision des crues par apprentissage statistique. Depuis 2006 un projet ANR (FLASH) a été coordonné par l'EMA sur ce thème pour les trois rivières Cèze, Ardèche, Gardons (thèse Audrey Bornancin-Plantier, 2013). Le SCHAPI a financé sur ce sujet depuis la même période trois thèses sur la prévision des crues du Gardon à Anduze, et sur les bassins cévenols non jaugés, car de plus petites tailles (Mohamed Toukourou, 2009 ; Guillaume Artigue, 2012 ; Thomas Darras, en cours), lui-même relayé par le SPC-GD qui a financé les développements du modèle ALTAÏR (Thèses Pierre-Alain Ayrat, 2005 ; Vincent Thierion, 2011 ; Olivier Laganier, 2014), le CNES a également participé au financement de la thèse de Denis Maréchal (2011) visant à exploiter les méthodes de la télédétection pour mieux appréhender les processus de genèse de la crue sur les amonts des bassins.

– des actions marginales de traitement du signal pour le bureau d'étude GECO Ingénierie pour traiter le signal des Aloses en cours de reproduction à l'aval de la Cèze, puis aider à réaliser un prototype électronique.

La principale question immédiate est la coordination et la capitalisation de toutes ces actions de recherche, dont on peut espérer une synergie, puis sur cette base, dans un second temps, la mise en œuvre de recherches réellement nouvelles.

V. TRANSFERTS DE CONNAISSANCES ET PARTENARIAT AVEC LES GESTIONNAIRES ET LES OBSERVATOIRES

Comme nous l'avons vu précédemment, les observatoires préexistants du secteur cévenol présentent un grand intérêt de par leurs travaux et leurs bases de données, notamment hydrométriques. La création du site : Rivières cévenoles serait un complément intéressant à ces travaux et mesures. La mise en place d'un partenariat avec ces structures pour organiser les transferts des connaissances et des données permettrait :

1) d'apporter une valeur ajoutée aux données hydrométriques et climatiques à travers des études dédiées et interdisciplinaires ;

2) d'améliorer la mesure des débits des rivières à l'étiage pour compléter les stations existantes prévues pour des relevés en hautes eaux ;

3) de compléter l'acquisition de données et les études sur des thématiques peu explorées par les observatoires : écologie, biologie, chimie, circulations souterraines, interactions nappes/rivières, analyses multiéchelles, services écosystémiques.

Outre les observatoires, des structures de gestions préexistent sur le site : Rivières cévenoles. Une rencontre avec quatre d'entre elles en octobre 2014, nous a permis de mieux cerner les besoins en termes de recherche et de connaissance de ces structures.

Site atelier : rivières cévenoles

Le **Syndicat mixte Ardèche-Claire** (Contrat Rivière Ardèche, Syndicat Rivière Chassezac) a exprimé les besoins en connaissance suivants :

- 1) améliorer la connaissance des petits prélèvements d'eau,
- 2) estimer les effets des changements climatiques sur les espèces indicatrices de la qualité du milieu,
- 3) connaître l'impact de la végétation des rives sur les flux d'eau,
- 4) quantifier l'apport de polluants par le karst (ex : pollution des petits villages, anciennes activités minières, pollutions diffuses...), la ressource en eau du karst,
- 5) suivre les espèces invasives et leurs liens avec les activités humaines,
- 6) valoriser le patrimoine hydraulique (petits barrages, canaux...),
- 7) étudier l'évolution des pratiques et la perception des rivières,
- 8) mieux connaître les services rendus par les milieux aquatiques et mettre en œuvre des indicateurs de l'état des milieux pour traduire les dysfonctionnements (invertébrés, poissons).

Le **SMAGE Gardon** a exprimé les besoins en connaissance suivants :

- 1) comprendre les relations karts/cours d'eau pour améliorer la gestion quantitative, estimer le soutien d'étiage en amont d'une source karstique,
- 2) mieux mesurer les débits et les volumes d'eau prélevés,
- 3) caractériser les pollutions de l'eau (assainissement, activité agricole (pesticides viticoles), lourd passé minier, PCB, eutrophisation...),
- 4) protéger la biodiversité (Aloses passage du bas Gardon arrêt dans les gorges) et limiter les espèces invasives (jussie, renouée du Japon, houblon japonais).

Le **CREN RA** (tourbières et Apron) a exprimé les besoins en connaissance suivants :

- 1) mieux comprendre les relations poissons/environnement notamment pour l'Apron (restauration de la continuité (passe à poisson spéciale Apron), relevés environnementaux, effet des grands ouvrages hydroélectriques, relation populations-débit,
- 2) mieux comprendre le fonctionnement karstique du bas Chassezac.

Le **Syndicat du bassin de la Cèze** (AB-Cèze) a exprimé les besoins en connaissance suivants :

- 1) améliorer la gestion quantitative de la ressource et limiter l'impact sur la biodiversité : connaissance des étiages, débit biologique, acceptabilité sociale de cette ressource, débit réservé,
- 2) mieux intégrer entretien des milieux et enjeux humains : ripisylve et banc de graviers, services écosystémiques, perception sociale de la rivière,
- 3) améliorer la gestion qualitative de la ressource : enjeux milieu et tourisme, estimer les débits d'étiage
- 4) gérer le risque inondation.

Les besoins en termes de recherche et de connaissances sont donc importants du point de vue des gestionnaires sur le site: Rivières cévenoles. Dans la partie centrale de la figure 1 sont mis en avant en gras et en couleur les mots clefs communs aux chercheurs et aux gestionnaires. On note que des points communs apparaissent pour chaque entrée du schéma conceptuel de la ZABR.

Au final, cette première rencontre avec les gestionnaires du secteur a permis de mettre en avant les enjeux scientifiques et opérationnels, et les besoins suivants en termes de connaissances :

- historicité : pressions, relations au milieu, crues, sécheresses, conflits d’usage,
- gestion quantitative : débits réservés, débits biologiques, criticité des basses eaux, assecs, étiages, pression d’usage (ex : pompage),
- gestion qualitative : eutrophisation, fond géochimique et anciennes activités minières
- fonctionnement du karst : relations entre karst et cours d’eau, pertes, résurgences, exurgences
- relations hommes/milieus : lien entre anciens aménagements (vieux seuils) et mobilité des organismes, liens débits/habitats, impact de la baignade et du canyoning sur les petits cours d’eau (seuil de fréquentation du milieu), lien zones humides et activités agricoles,
- évaluation des services écosystémiques, facteurs de contrôle, marqueurs, résilience, pressions, vulnérabilités
- gouvernance et gestion durable : territoire, paysage, patrimoine, habitabilité, développement.

La confrontation entre objectifs scientifiques et objectifs opérationnels a permis de mettre en avant quatre points convergents phares pour les gestionnaires et les chercheurs (Figure 1 – à droite en gras) :

1. gestion des territoires et des tensions dont les tensions entre ressources,
2. marqueurs de la santé des écosystèmes et paysagère (marqueurs biologiques, débits biologiques),
3. facteurs de contrôle des services écosystémiques et du fonctionnement des hydrosystèmes,
4. dynamique des populations piscicoles et effets des assecs sur les organismes et populations.

Il conviendrait dans la prise en compte de ces quatre questions de mettre en avant :

- 1) la question des extrêmes notamment en termes de manque d’eau et des implications sur la modification des habitudes du point de vue des consommations de la ressource, les liens entre les réservoirs, en particulier karstiques, et les rivières qu’ils soutiennent
- 2) la question du lien entre services écosystémiques et gestion en tenant compte :
 - de la dynamique de la population humaine (déséquilibre nord/sud),
 - du poids du passé (relargage et rémanence de pollution),

Site atelier : rivières cévenoles

- des externalités assurées par le milieu,
- des risques de crues, de pluies torrentielles et d'incendie,
- des problématiques de changement d'échelle.

3) les questions concernant le recueil de nouvelles données (nouvelles stations de mesures) et l'utilisation de données anciennes en lien avec les observatoires. Il conviendra d'organiser leur mutualisation, leur partage, l'organisation et leur gestion.

VI. CONCLUSION : OBJECTIF A QUATRE OU CINQ ANS ; STRATEGIE POUR AVANCER DANS LA CONSTRUCTION DU SITE : RIVIERES CEVENOLES

VI.1. ACTIONS ORGANISATIONNELLES

Le premier objectif sera d'essayer de faire l'inventaire des acteurs et des actions de recherche et de gestion en cours sur ces bassins, puis des actions passées, voire historiques. Un premier travail a déjà été fait lors des réunions préparatoires, mais il faudra peut-être le compléter et l'affiner.

Le second objectif devrait être de faire l'inventaire des données disponibles ; celles qui ont été collectées sur un temps limité (parfois anciennes) et celles qui sont en cours d'acquisition (inventaire du réseau de mesure actif) afin d'arriver à une bancarisation respectueuse des droits de chacun, mais permettant une mise à disposition plus large des mesures et observations obtenues.

Ceci nécessitera la mise en place d'une cellule de coordination qui pourra être pilotée par les trois enseignants chercheurs pressentis pour animer le SA-ZABR-RC, mais sans que ceux-ci puissent se consacrer aux tâches d'exécution que nécessitent de telles perspectives.

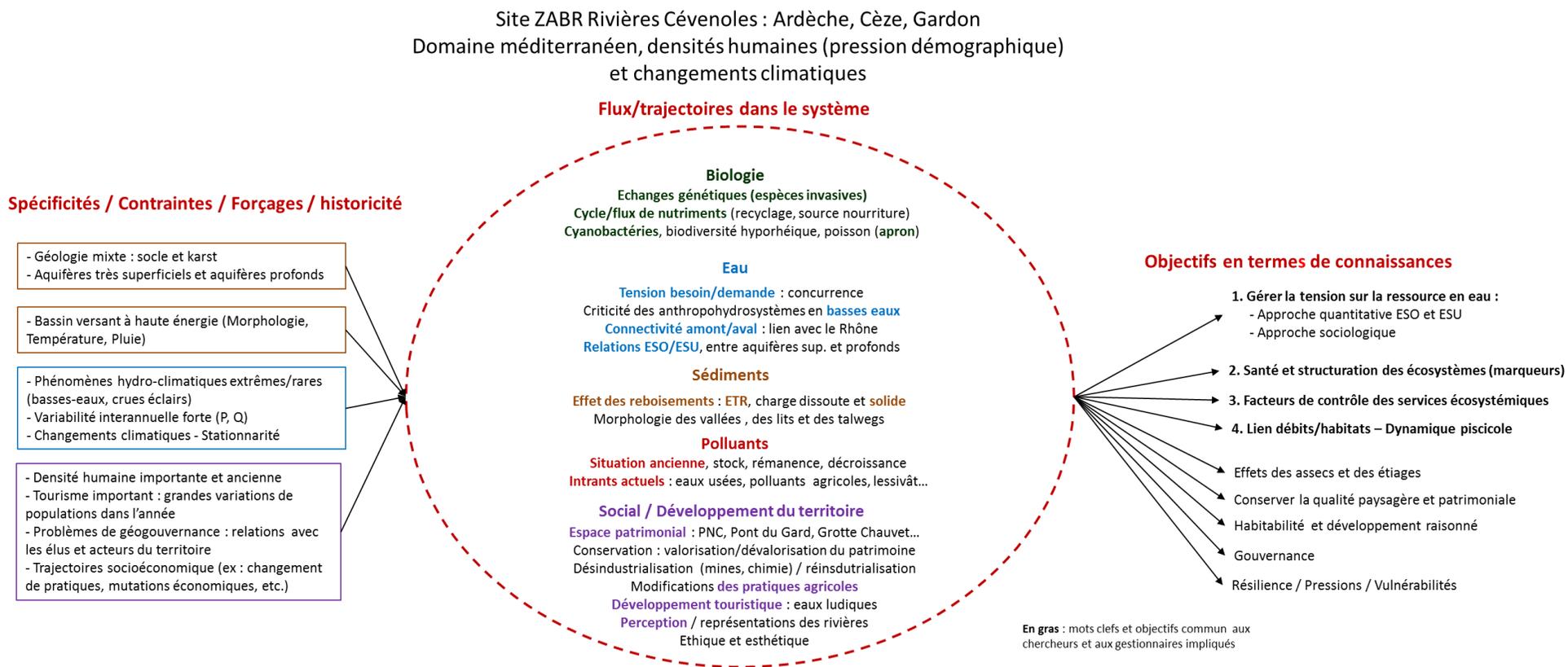
Ceci nécessitera donc de trouver des ressources : CDD, stagiaires... de niveau variable : ingénieur, assistant-ingénieur, technicien... et la mise en place d'une structure légère et souple d'animation – coordination.

VI.2 ACTIONS D'ANIMATIONS

Pour stimuler des recherches pluridisciplinaires, il serait idéal de disposer d'outils d'animation pour inciter les chercheurs à se rencontrer à travailler ensemble ; on peut imaginer des séminaires dont les actes seraient publiés dans des revues ou ouvrages scientifiques et tout publics ; une recherche concertée de financeurs poussant certains projets comme cela est fait avec l'Agence de l'Eau actuellement, ainsi que toute autre forme d'action à visée collaborative. L'expérience de la ZABR sur ce point pourrait être très utile.

FIGURE 1 : SCHEMA ORGANISATIONNEL DU SITE : RIVIERES CEVENOLES

Version de travail : 23 janvier 2015



Site atelier : rivières cévenoles

TABLEAU 1– SITE : RIVIERES CEVENOLE VS AUTRES SITES ZABR

	Rivières cévenoles	ZH	Arc-Isère	Drôme	Ardière-Morcille	Sipibel
Spécificités	Bassins versants méditerranéens et de moyennes montagnes, fortement anthropisés, hautement touristiques, à hautes énergies et étiages sévères, glyptogénèse archétypale	Milieux annexes des cours d'eau	Rivières alpines	Rivière en tresse	BV viticole	Effluents hospitaliers
Biologie	Échanges génétiques (espèces invasives) avec le confluent Cycle/flux de nutriments et effet de la morphologie des rivières Cyanobactéries, biodiversité hyporhéique, poisson (apron)	Typologie fonctionnelle des ZH (facteurs biotiques et abiotiques) Modèles généralistes d'écologie Vulnérabilité des ZH (crues, assecs, trophique, thermique, biodiversité, fonctionnement)	-	Conséquence de la dynamique sédimentaire sur la biodiversité	Écotoxicologie (réponses des invertébrés et des communautés bactériennes)	Écotoxicologie et risque écologique
Eau	Tensions : besoins ou demandes naturelles et anthropiques au regard de l'offre et de sa variabilité Criticité des basses eaux (CBE) Régimes hydrologiques contrastés (crues/étiages ; amont sur socle/aval karstique, distance à la mer faible) Connectivité amont/aval Relations ESO/ESO, entre aquifères superficiels et profonds	Dynamique hydrologique	Flux d'eau	-	Déterminants des flux	-
Sédiments	Effet des reboisements, remontée biologique : ETR forte, Charges dissoute, solide : glyptogénèse, érosion des dépôts alluviaux anthropiques Morphologie des vallées, lits, talwegs (terrasses, bed rock)	Dynamique sédimentaire	Flux sédimentaires et effets sur la morphologie de la rivière	Dynamique sédimentaire et conséquence sur la morphologie des cours d'eau	-	-
Polluants	Ancienneté des extractions minières (minéraux, charbon) Situation ancienne : stock, rémanence, décroissance Intrants actuels : eaux usées, polluants agricoles, lessivas...	-	Flux contaminant associé au flux sédimentaire	-	Déterminants des flux (Pesticides, métaux)	Caractérisation des flux (effluents hospitaliers), devenir dans l'environnement et impact sur les systèmes aquatiques
Sciences de l'Homme et de la Société	Espace patrimonial : Parc national des Cévennes, Pont du Gard, Grotte Chauvet... Conservation : valorisation / dévalorisation du patrimoine Désindustrialisation (mine, chimie...)/ réindustrialisation Développement touristique : eaux ludiques Modifications des pratiques agroenvironnementales Perception des rivières / représentations, image Éthique et esthétique	Acceptabilité sociale des ZH	-	Perception sociale des problématiques physiques (gestion sédimentaire et quantité d'eau)	Résistance au changement (frein levier dans les pratiques)	Changement de pratiques Expérimentation
Changement climatique	Forçages, sévérité, exacerbation du climat méditerranéen Conséquences : ressources en eau, activités, risques	Forçages	Forçages	-	-	-
Gestion	Résilience / Pressions / Vulnérabilités / Géogouvernance / développement / attractivité	Restauration des ZH	Effets des changements de pratique de gestion	Évolution et impact des politiques de gestion	Méthodes de réduction des polluants	Procédure de traitement / leviers d'action

Site atelier : rivières cévenoles

TABLEAU 2- SITE : RIVIERES CEVENOLE VS OBSERVATOIRE ZABR/BASSIN DU RHONE

	Rivières cévenoles	OTHU	SOERE	OSR	OHM-VR
Spécificités	Bassins versants méditerranéens et de moyennes montagnes, fortement anthropisés, hautement touristiques, à hautes énergies et étiages sévères, glyptogénèse archétypale	BV urbain	Lacs alpins	Sédiments Rhône	Corridor rhodanien
Biologie	Échanges génétiques (espèces invasives) avec le confluent Cycle/flux de nutriments et effet de la morphologie des rivières Cyanobactéries, biodiversité hyporhéique, poisson (apron)	-	Effet des dynamiques chimiques et des activités humaines (empoisonnement) sur la biologie et la biodiversité des lacs Flux de nutriments	-	Liant interdisciplinaire Coordination de grands projets de recherche Développement de sujets peu abordés Trajectoires géohistoriques Le plan Rhône entre changement et continuité Fonctionnement socio – écosystémique Risques environnementaux Restauration renaturation Nouveaux outils
Eau	Tensions : besoins ou demandes naturelles et anthropiques au regard de l'offre et de sa variabilité Criticité des basses eaux (CBE) Régimes hydrologiques contrastés (crues/étiages ; amont sur socle/aval karstique, distance à la mer faible) Connectivité amont/aval Relations ESO/ESO, entre aquifères superficiels et profonds	Pluie, ruissellement, eaux usées / imperméabilisation, rétention, décantation, infiltration / impact sur le milieu récepteur (rivière, nappe)	-	Inondation et dynamique sédimentaire	
Sédiments	Effet des reboisements, remontée biologique : ETR forte, Charges dissoute, solide : glyptogénèse, érosion des dépôts alluviaux anthropiques Morphologie des vallées, lits, talwegs (terrasses, bed rock)		-	Bilan : Transfert, stockage, remobilisation de sédiments Évolution du chenal du Rhône	
Polluants	Ancienneté des extractions minières (minéraux, charbon) Situation ancienne : stock, rémanence, décroissance Intrants actuels : eaux usées, polluants agricoles, lessivas...	Métaux lourds, contamination bactérienne, impacts sanitaires	Dynamiques chimiques à long terme (eutrophisation, polluants émergents)	Flux contaminant associé aux sédiments	
Sciences de l'Homme et de la Société	Espace patrimonial : Parc national des Cévennes, Pont du Gard, Grotte Chauvet... Conservation : valorisation / dévalorisation du patrimoine Désindustrialisation (mine, chimie...) / réindustrialisation Développement touristique : eaux ludiques Modifications des pratiques agroenvironnementales Perception des rivières / représentations, image Éthique et esthétique	Services rendus par les systèmes de gestion des eaux pluviales	-	-	
Changement climatique	Forçages, sévérité, exacerbation du climat méditerranéen Conséquences : ressources en eau, activités, risques	Forçages	Forçages	Forçages	Changements globaux
Gestion	Résilience / Pressions / Vulnérabilités / Géogouvernance / développement / attractivité	Eau et rejets urbains / systèmes de traitement alternatif	Services écosystémiques (AEP, pêche, tourisme...)	Effets des politiques d'aménagement sur la gestion du fleuve (restauration)	Gestion intégrée du fleuve (trajectoires et effets) Restauration des marges fluviales Modélisation/prédiction des changements

Site atelier : rivières cévenoles

TABLEAU 4 - SITE : RIVIERES CEVENOLE VS OBSERVATOIRE DU RESEAU RVB (SECTEUR CEVENOLE)

	Rivières Cévenoles	OHM-CV	SOERE	SNO karts
Spécificités	Bassins versants méditerranéens et de moyennes montagnes, fortement anthropisés, hautement touristiques, à hautes énergies et étiages sévères, glyptogénèse archétypale	OHM inclus dans le SOERE RVB comme Médocys et SNO Karst Vivarais, Cévennes, Vidourle, Hérault	Réseau de bassins versants 15 observatoires, dont OHM-CV, Drex-Bléone, Médocys, Fontaine de Vaucluse, SNO Karst Compréhension de la zone critique Suivi et mesures : hydrométrie, climat, géologie, usage des sols Portail de métadonnées Equipex Critex (suivi zone critique)	Inclus Médocys Base de données Boîte à outils analyse du signal
Biologie	Échanges génétiques (espèces invasives) avec le confluent Cycle/flux de nutriments et effet de la morphologie des rivières Cyanobactéries, biodiversité hyporhéique, poisson (apron)	-	-	Microbiologie
Eau	Tensions : besoins ou demandes naturelles et anthropiques au regard de l'offre et de sa variabilité Criticité des basses eaux (CBE) Régimes hydrologiques contrastés (crues/étiages ; amont sur socle/aval karstique, distance à la mer faible) Connectivité amont/aval Relations ESO/ESO, entre aquifères superficiels et profonds	Crues intenses, crues éclairs Prévision des crues Radar (pluie), hydrométrie Processus météo et hydro Risques spatialisés	Mesures (météo, hydro)	Transferts en milieu karstique (eau) Lien structure/ écoulement, Modélisation
Sédiments	Effet des reboisements, remontée biologique : ETR forte, Charges dissoute, solide : glyptogénèse, érosion des dépôts alluviaux anthropiques Morphologie des vallées, lits, talwegs (terrasses, bed rock)	-	Mesures (polluants, flux)	Transferts en milieu karstique (matières en suspension)
Polluants	Ancienneté des extractions minières (minéraux, charbon) Situation ancienne : stock, rémanence, décroissance Intrants actuels : eaux usées, polluants agricoles, lessivas...	-	Mesures (polluants, flux)	-
Sciences de l'Homme et de la Société	Espace patrimonial : Parc national des Cévennes, Pont du Gard, Grotte Chauvet... Conservation : valorisation / dévalorisation du patrimoine Désindustrialisation (mine, chimie...) / réindustrialisation Développement touristique : eaux ludiques Modifications des pratiques agroenvironnementales Perception des rivières / représentations, image Éthique et esthétique	Impact des crues sur la société Comportements en temps de crise (modélisation opérationnelle et prospective) Alerte, vulnérabilité, communication, mobilité	Usage des sols	-
Changement climatique	Forçages, sévérité, exacerbation du climat méditerranéen Conséquences : ressources en eau, activités, risques	Forçages	-	Ressource en eau et changement globaux
Gestion	Résilience / Pressions / Vulnérabilités / Géogouvernance / développement / attractivité	Gestion de crise	-	-