

Les méthodes d'aide à la détermination de valeurs de débit minimum

Philippe BARAN – Michel LARINIER – Dominique COURRET.

1	<i>Contexte et problématique.....</i>	5
2	<i>Debit minimum et fonctionnement des eaux courantes.....</i>	6
2.1	Régimes hydrologiques et fonctionnement des eaux courantes.....	6
2.2	Rôles des bas débits dans le fonctionnement des cours d'eau.....	6
2.3	Altérations des régimes hydrologiques et incidences sur les eaux courantes.....	6
3	<i>Les méthodologies d'aide à la fixation de debit minimum.</i>	8
3.1	Les méthodes hydrologiques.....	9
3.2	Les méthodes hydrauliques.....	13
3.3	Les méthodes d'habitat	22
4	<i>DEBITS MINIMUMS ET CONTINUITE ECOLOGIQUE.</i>	28
5	<i>PRECONISATIONS.</i>	28

SYNTHESE

Les débits minimums biologiques doivent garantir la reproduction, la croissance et les déplacements des organismes aquatiques. La Loi sur l'Eau de décembre 2006 dans son article L214-18 fixe des valeurs minimales seuils à respecter de 5 et 10% du débit moyen interannuel selon les situations. Ces valeurs minimales peuvent être différentes afin de garantir l'état écologique des masses d'eau concernées par le maintien des habitats et/ou de la continuité écologique.

En effet, la réduction des valeurs de débits minimums peut profondément modifier les communautés biologiques tant au niveau de leur croissance, leur survie que de leur déplacement et leur migration. De très nombreux travaux scientifiques ont mis en évidence des impacts importants principalement sur les communautés piscicoles. Ces impacts portent sur la modification des structures de peuplement, la réduction des abondances, des changements dans les structures en âge des populations et des perturbations des déplacements et migrations. Ces impacts dépendent de l'intensité des perturbations hydrauliques et morphologiques.

Il est donc nécessaire de disposer d'outils d'aide à la définition de ces valeurs minimales. Ces valeurs de débits devront garantir les habitats en aval des dérivation et/ou des prélèvements mais également la libre circulation des espèces dans les tronçons de rivières et au droit des ouvrages de prélèvement et dérivation d'eau.

Nous avons donc distingué les méthodes et les approches propres aux débits minimums et aux habitats des tronçons aval des ouvrages et les approches propres à la libre circulation piscicoles.

Les outils disponibles pour les débits minimums et les habitats ont été développés depuis plus de 30 ans dans de très nombreux pays.

Trois catégories de méthodes existent actuellement.

- les méthodes dites hydrologiques basées uniquement sur l'analyse des chroniques de débits,
- les méthodes dites hydraulique basées sur la relation entre les paramètres hydrauliques, la morphologie du cours d'eau et la valeur de débit minimum,
- les méthodes dites d'habitat qui croise l'évolution des caractéristiques hydrauliques avec les préférences biologiques d'espèces, de stades de développement ou de groupes d'espèces.

2) Les méthodes hydrologiques fixent des valeurs seuils en se basant soit sur les courbes de débits classés, soit sur des valeurs moyennes de débits associées à des durées, soit sur le pourcentage d'une valeur caractéristique du régime hydrologique

La littérature scientifique retient ainsi le Q99, Q97.5, Q95 ou le Q90 correspondant aux valeurs de débits dépassées pendant 99%, 97.5%, 95% ou 90% du temps dans l'année, la valeur du débit moyen sur 7 jours consécutifs avec une probabilité de n'être dépassée qu'une fois tous les 10 ans, des valeurs de 30 à 75% des débits moyens minimum mensuels de retour 5 ans ou des valeurs de 2,5 à 50% de débit moyen interannuel selon les pays et les régions.

L'analyse des étiages de 74 régimes hydrologiques peu perturbés fournit des valeurs moyennes et médianes toujours supérieures au 1/10^{ème} du module à l'exception des valeurs du Q99 et du VCN7 de retour 10 ans. Seuls 21,6% des sites présentent des débits d'étiage mensuels de retour 5 ans inférieurs au 1/10^{ème} du module et cette valeur tombe à 5,4% pour les moyennes interannuelles (QMNA). Le 1/10^{ème} du module représente 65% du QMNA5 et 50% du QMNA pour plus de la moitié des sites. En terme de débits classés, le 1/10^{ème} du module ne correspond au débit dépassé 90% du temps que pour seulement 7% des stations retenues. Ces résultats sont très variables en fonction des régions avec des

étiages sévères (<10% du module) pour les rivières méditerranéennes, des étiages marqués (proche de 10% du module) pour les rivières de Bretagne, du sud de la Normandie, du Massif-Central (bassin de la Dordogne) et du Jura, des étiages modérés (15% du module) pour les Vosges et l'est du Massif-Central et enfin des étiages soutenus (>20% du module) pour les Alpes et les Pyrénées.

Les valeurs préconisées par certaines méthodes telles que le VCN7 de retour 10 ou le Q99 représentent des conditions d'étiage très sévères et peu représentatives des contraintes hydrologiques de nos cours d'eau.

3) **Les méthodes hydrauliques** s'appuient essentiellement sur la relation entre la surface mouillée et la valeur de débit. Cette relation dépend de la morphologie du cours d'eau avec toutefois trois plages de débits :

- une plage de débit pour lesquels la surface mouillée diminue très significativement,
- une plage de débit où la surface mouillée évolue peu
- une plage de débit correspondant au basculement entre les deux précédentes.

Le choix des débits minimums doit s'effectuer au sein de cette dernière plage.

Globalement, l'application des méthodes hydrauliques montre que la plage de débit à partir de laquelle les conditions hydrauliques et la surface mouillée évolue très nettement se situe très souvent entre 15 et 25% du module.

4) **Les méthodes d'habitat** se sont développées à partir des années 1970 au USA et 1980 en France. La plus connue d'entre elle en France est la méthode des microhabitats (Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) aux USA).

Ces méthodes font plusieurs postulats :

- la majorité des organismes aquatiques d'eaux courantes présentent des préférences marquées pour les conditions hydrauliques (vitesse et hauteur d'eau) ainsi souvent que pour les substrats,
- les modifications de ces conditions hydrauliques en fonction des valeurs de débits affecteront donc les organismes aquatiques dans leur distribution, leur comportement et leur croissance,

En connaissant l'évolution des conditions hydrauliques dans un tronçon de cours d'eau en fonction du débit ainsi que les préférences des espèces présentes, il est donc possible d'établir une relation entre un potentiel d'accueil pour les espèces et la valeur de débit et ainsi d'effectuer un choix. En France, trois approches ont été développées :

- la méthode EVHA (Evaluation de l'Habitat), qui repose sur la caractérisation hydraulique et topographique d'une station et l'utilisation d'un modèle hydraulique pour calculer les différentes valeurs de vitesses et de hauteur d'eau à plusieurs débits,
- la méthode dite « EDF- Direction des Etudes et Recherches » qui mesure directement les conditions de hauteurs d'eau et de vitesses à différents débits,
- la méthode ESTIMHAB qui est une modélisation des résultats de la méthode EVHA. L'évolution des surfaces d'habitat disponibles en fonction du débit a été directement reliée à la géométrie du lit, aux grandeurs hydrauliques que sont le nombre de Froude et le nombre de Reynolds et à la valeur de débit médian du cours d'eau. On retrouve dans cette approche les principes des relations entre hydrauliques, surface mouillée et géométrie du cours d'eau qui dépend elle-même de l'hydrologie.

Les résultats issus de ces méthodes sont très sensibles :

- à la représentativité des sites de mesures et à leur caractéristique topographique. Les outils EVHA et ESTIMHAB ont été surtout développés pour les cours d'eau de pente <5%,
- au choix des modèles biologiques utilisés,
- à la situation morphologique du cours d'eau. Dans des situations hydrologiques et morphologiques modifiées (tronçon dérivé par exemple), la réponse des habitats au débit sera calée sur le module effectif du cours d'eau et non pas sur le module naturel.

Leur utilisation doit donc préalablement reposer sur un choix de cible biologique précise tant en matière d'espèce que de stade de développement. Il est nécessaire de privilégier les espèces sensibles aux conditions hydrauliques telles que les salmonidés et les cyprinidés d'eau vives ainsi que les stades adultes et/ou la reproduction.

5) La définition d'une valeur de débit minimum pour garantir les habitats dans un tronçon de rivière peut s'effectuer en respectant plusieurs étapes successives.

- Etape 1 : caractériser la situation écologique du tronçon de cours d'eau pour identifier les enjeux et surtout les espèces et les stades de développement réellement sensibles à la réduction des débits et l'emprise de l'installation (longueur du tronçon court-circuité, débit d'équipement, hauteur de l'ouvrage rapportée à la pente du cours d'eau...). Cette étape doit permettre de définir le niveau de risque associé à la réduction du débit (risque très fort (>5 km de cours d'eau à Salmonidés affectés) ; risque fort (1-5 km de cours d'eau à Salmonidés ou Cyprinidés d'eaux vives), risque modéré (<1 km de cours d'eau à Salmonidés ou Cyprinidés d'eaux vives affectés) ; risque faible (<0,5 km de cours d'eau à espèces peu sensibles aux conditions hydrauliques).
- Etape 2 : caractériser l'hydrologie et notamment les conditions d'étiage en projetant le débit réservé envisagé vis-à-vis de ces conditions d'étiage et des risques définis à l'étape 1.
- Etape 3 : choix du débit minimum s'appuyant :
 - o Sur les valeurs seuils réglementaires pour les tronçons à risques faibles et modérés et donc les étiages sont inférieurs ou proche de 10% du module,
 - o Sur une valeur caractéristique des conditions d'étiage naturel (par exemple le VCN10 de retour 2 ans), pour les cours d'eau à risque fort à très fort et dont les étiages sont supérieurs à 15% du module.

Si le projet s'oriente vers une valeur de débit minimum inférieure aux débits d'étiage de retour quinquennaux, il est nécessaire d'analyser dans ce cas :

- tout d'abord la sensibilité de la surface en eau vis-à-vis du débit en se concentrant sur les habitats les plus sensibles (zones de radiers),
- dans un second temps sur l'évolution des habitats des espèces et stades les plus sensibles si la valeur de débit pressentie dans le projet engendre une perte significative de surface en eau.

6) La définition du débit minimum garantissant l'intégrité des habitats doit être complétée par une démarche propre à la libre circulation des poissons. Cette démarche évaluera, au vu des enjeux existants en terme de migrations et déplacements de poissons, les besoins de débit à réserver aux dispositifs de franchissement tant en montaison qu'en dévalaison pour assurer leur attractivité et leur fonctionnement.

7) La définition d'une valeur minimale de débit devra donc se baser sur la synthèse des deux approches (habitats et continuité) en respectant une approche hiérarchique qui progresse par étape successive et qui n'oriente pas systématiquement vers les méthodes d'habitat les plus sophistiquées.

1 CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

La fixation de valeurs de débit minimum dans les cours d'eau constitue une mesure correctrice importante pour garantir le fonctionnement des écosystèmes soumis à des pressions de prélèvements et/ou de dérivation d'eau. La loi sur l'eau dans son article L214-18 a fixé les conditions réglementaires permettant de définir des valeurs de débit minimum dans les cours d'eau soumis à des activités influençant les volumes d'eau écoulés dans un tronçon de rivière. L'article de Loi a défini des valeurs minimales égales à 10 et 20% du débit moyen inter-annuel à respecter.

Ces valeurs planchers ont pour objectif de garantir à minima l'intégrité du cours d'eau soumis à de fortes pressions d'usages de l'eau. La forte variabilité des enjeux environnementaux à l'échelle du territoire nationale, la diversité des contextes hydrologiques ainsi que des usages doit amener à proposer des outils et des démarches permettant selon les situations de proposer des valeurs de débit minimal adaptées à chaque situation.

Ces valeurs minimales constitueront le débit réservé (débit réglementaire délivré au niveau des ouvrages de l'installation hydroélectrique) et seront en fait composées :

- d'un débit minimum garantissant la vie, la reproduction et la circulation des poissons dans le tronçon court-circuité lorsque celui-ci existe,
- d'un débit minimum assurant le fonctionnement des dispositifs de montaison qu'il soit situé au droit du barrage et/ou de l'usine,
- d'un débit minimum permettant l'évacuation des poissons en amont des ouvrages (barrage, usine).

Depuis la Loi pêche de 1984 et avec les renouvellements des concessions et autorisations de nombreuses installations hydroélectriques, différents outils et méthodes ont été proposés et utilisés pour aider à la définition de débit minimum biologique.

La mise en œuvre du nouveau cadre réglementaire réclame de faire un bilan des différentes méthodes disponibles dans le domaine ainsi que de présenter des éléments de réflexion sur les démarches à adopter en fonction des différents contextes et des enjeux. Cette démarche est d'autant plus importante que les méthodes disponibles mettent l'accent sur l'un des enjeux à savoir le maintien des habitats dans le tronçon court-circuité et qu'il convient d'y ajouter les enjeux associés à la continuité écologique.

Le pôle d'écohydraulique de l'ONEMA à Toulouse, régulièrement sollicité pour l'appui technique dans le domaine de l'application des méthodes d'aide à la fixation de des débits minimums ainsi que dans celui des ouvrages dédiés et donc des débits à la libre circulation a proposé de réaliser une note technique sur ce thème.

La présente note a pour objectifs :

- de rappeler le rôle des débits minimums dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et les impacts induits par les altérations des ces valeurs de bas débits,
- de présenter et d'analyser les méthodes disponibles pour l'aide à la fixation de valeurs seuils,
- de proposer une démarche hiérarchique permettant d'adapter le choix et la mise en œuvre des méthodes aux contextes et aux enjeux.

2 DEBIT MINIMUM ET FONCTIONNEMENT DES EAUX COURANTES

2.1 Régimes hydrologiques et fonctionnement des eaux courantes.

Le débit constitue la variable clé du fonctionnement des cours d'eau. Les régimes hydrologiques vont conditionner la morphologie de la rivière, les habitats et la biologie. Ce sont l'ensemble des caractéristiques des régimes qui interviennent :

- les volumes écoulés à différentes échelles de temps (journalières, saisonnière, annuelles),
- les fréquences auxquelles certaines valeurs de débits particulières sont observées,
- les durées de certaines valeurs de débits (périodes durant lesquelles le débit dépasse ou est inférieur à une valeur seuil donnée),
- la prévisibilité des événements (régularité avec laquelle certains épisodes hydrologiques reviennent),

Si les fortes valeurs de débits conditionnent beaucoup la morphologie et le renouvellement des habitats, les bas débits peuvent fortement influencer les organismes aquatiques en terme notamment de capacité de survie. Le maintien de valeurs minimales est donc essentiel pour garantir l'état écologique des masses d'eau.

2.2 Rôles des bas débits dans le fonctionnement des cours d'eau.

Les valeurs de faibles débits vont conditionner :

- la situation morphologique du cours d'eau en terme de surface en eau,
- les conditions hydrauliques (hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement),
- les conditions physico-chimiques principalement la température et l'oxygène dissous.

Ces caractéristiques vont directement influencer :

- l'habitat des espèces en quantité et en qualité,
- les possibilités de déplacements et de migration des espèces (continuité écologique),
- les capacités de dilution de rejets.

La valeur de débit minimum doit donc être analysée au travers de ces 3 critères (habitat, continuité écologique, qualité des eaux).

2.3 Altérations des régimes hydrologiques et incidences sur les eaux courantes

2.3.1 Caractérisation des altérations hydrologiques liées à un prélèvement-restitution.

Les prélèvements d'eau en rivière vont modifier plusieurs des caractéristiques des régimes hydrologiques.

Les valeurs de débits minimums vont être diminuées et leur durée va augmenter. Par rapport à des situations d'étiage non influencées sur des cours d'eau présentant un potentiel pour la production hydroélectrique (voir chapitre III.A.4.), les débits réservés au 1/40^{ème} du module représentent globalement des diminutions de 75 à 90% des valeurs caractéristiques des étiages (QMNA, VCN10, Q90, Q95) tandis que le 1/10^{ème} du module représente une valeur de 17 à 60% inférieure aux situations naturelles. Cette valeur correspond à des débits rencontrés en moyenne moins de 1% du temps dans des régimes naturels de cours d'eau de basse à haute montagne. Sur un cours d'eau des Ardennes, Ovidio *et al.*, (2008) ont montré

une augmentation de pratiquement 50% de la durée des bas débits après la mise en fonctionnement d'une installation hydroélectrique.

Les rapports entre les débits minimaux et maximaux lors de certains événements (crues, déversements aux barrages de prise d'eau) vont également être plus forts qu'en régime naturel. Ce rapport dépendra de la valeur de débit réservé, du débit prélevé (débit d'équipement de l'installation dans le cas de l'hydroélectricité) et de l'importance de l'évènement hydrologique de crue.

Dans des cours d'eau de moyenne et haute montagne, pour des crues de 2 à 6 fois le module, le rapport (débit max./débit min) passe de valeurs variant entre 4 et 20 à des valeurs de 25 à plus de 100.

La prévisibilité des événements hydrologiques est également modifiée notamment en terme de bas débit. Alors qu'en régime naturel, les situations d'étiage reviennent globalement aux mêmes périodes (été ou hiver), en situation de débit dérivé, les périodes de faible débit interviendront à différentes saisons.

2.3.2 Incidences de la réduction des débits sur le fonctionnement des écosystèmes.

Les modifications des régimes hydrologiques par des activités de prélèvements, de stockage et/ou de restitution peuvent avoir de nombreuses incidences sur le fonctionnement biologique des cours d'eau. Dans la présente note, nous ne nous intéresserons qu'aux impacts induits directement ou indirectement par la réduction des valeurs de bas débits.

Les incidences ont été le plus souvent abordées soit par des études expérimentales en chenaux semi-artificiels (Kraft, 1972, Campbell, 19XX), soit par des études comparatives entre tronçons à hydrologie naturelle et modifiée (Shirvell, 1979 ; Demars, 1985, Baran *et al.*, 1995), soit enfin en suivant les évolutions d'une situation à hydrologie naturelle à une situation à hydrologie modifiée (Muzik, 1995 ; Ovidio *et al.*, 2008).

2.3.2.1 Les incidences morphologiques, hydrauliques et sur les habitats.

La réduction des valeurs de bas débits conduit à des modifications des conditions hydrauliques et des pertes de surfaces mouillées. Elles sont souvent proportionnelles à la valeur de débit. Dans les Pyrénées, les pertes de surfaces vont de 50 à 80% pour des valeurs de débit réservé proches de 2,5% du module et de 0 à 35% pour des valeurs de l'ordre de 10% du module (Baran *et al.*, 1995). Sur une rivière des Ardennes, Ovidio *et al.* (2008) observent une réduction de 17% de la surface mouillée entre l'étiage naturel et une valeur de débit réservé de 12% du module.

Les réductions de hauteurs d'eau et de vitesse peuvent varier de 10 à 90% selon le débit et la morphologie de la rivière. Ces changements de conditions hydrauliques modifient les caractéristiques des faciès d'écoulement en transformant les rapides en radiers et en escaliers.

2.3.2.2 Les incidences biologiques

2.3.2.2.1 Sur la végétation.

Les réductions de valeurs de débits sur des périodes assez longues se traduisent en général par des modifications au niveau de la végétation. Le développement des macrophytes est accentué surtout lorsqu'en plus des étiages, les débits de crue sont également très réduits. Les développements de périlython sont souvent plus importants dans les tronçons à débit réduits ceci en raison des changements dans les communautés d'invertébrés qui modifie les cycles de la matière organique.

2.3.2.2.2 Sur la faune d'invertébrés.

Les faunes d'invertébrés sont surtout modifiées dans leur structure et dans les équilibres entre les différents groupes fonctionnels en regard de leur aptitude à dégrader la matière

organique. Les taxons à très fort degré de rhéophilie peuvent également être pénalisés. Les changements quantitatifs sont en revanche moins marqués.

2.3.2.2.3 Sur les poissons.

La grande majorité des travaux sur les incidences des réductions de débits ont conclu à de fortes modifications qualitatives et quantitatives dans les communautés piscicoles. Sur 19 sites des Pyrénées (Baran *et al.*, 1995) et 10 sites du Massif-Central (Demars, 1985) la comparaison entre tronçons à hydrologie naturelle et tronçons soumis à de fortes réductions de débits a conclu à une réduction des abondances de truites dans 62% des cas. Les déficits sont d'autant plus importants que les valeurs de débit réservé sont faibles (75 à 85% pour le 1/40^{ème} du module) et que la taille des truites augmente. Dans une zone moins apicale sur la Garonne, Reijol *et al.* (2001) ont également montré que les secteurs à faible débit présentaient des déficits de truites et des modifications de structures de peuplements. En Nouvelle-Zélande, dans une large étude sur de nombreux sites, Shirvell (1979) a identifié d'importants déficits liés aux faibles valeurs de débits en aval des ouvrages hydroélectriques (augmentation d'un facteur 2 de la mortalité des juvéniles de truites et perte de 63% de la production) lorsque l'on retire 70% des débits d'étiage.

Dans le suivi d'une rivière Ardennaise après construction d'une installation hydroélectrique, Ovidio *et al.* (2008) ont mis en évidence une réduction de 76% des abondances d'ombres communs et de 48% de celles de truites. Des résultats similaires ont été observés par Muzik (1995) en Tchécoslovaquie. Comme dans les exemples précédents, les structures en taille sont modifiées avec une forte réduction des adultes au profit des alevins et des juvéniles.

La croissance des truites peut également être affectée avec une réduction significative à partir de 2 et 3 ans comme l'a démontré Lagarrigue *et al.* (2003) sur la Neste d'Aure dans les Pyrénées.

3 LES METHODOLOGIES D'AIDE A LA FIXATION DE DEBIT MINIMUM.

Dans ce chapitre, nous aborderons les débits minimums nécessaires au maintien des habitats de croissance et de reproduction des espèces dans les tronçons court-circuités.

Les méthodes d'aide à la détermination de débits minimum dans les cours d'eau ont surtout été développées au cours des 40 dernières années. Ces différents outils peuvent être classés en 3 grandes catégories :

- les méthodes dites hydrologiques basées uniquement sur l'analyse des chroniques de débits,
- les méthodes dites hydrauliques basées sur la relation entre les paramètres hydrauliques, la morphologie du cours d'eau et la valeur de débit minimum,
- les méthodes dites d'habitat qui croise l'évolution des caractéristiques hydrauliques avec les préférences biologiques d'espèces, de stades de développement ou de groupes d'espèces.

A ces 3 groupes, il faut ajouter les méthodes dont l'objectif n'est pas uniquement de fixer des valeurs de débits minimum mais d'aider à la définition de régimes hydrologiques. Elles reposent sur la prise en compte de l'ensemble du fonctionnement des écosystèmes d'eaux courantes en tenant des besoins des tous les compartiments. Ces méthodes développées au cours des 15 dernières années sont appelées méthodes holistiques. Nous ne les décrivons pas dans cette note car les termes de la Loi ne définissent qu'une seule exigence de valeur minimum ou éventuellement une modulation et pas un ensemble de caractéristiques du régime hydrologique.

Il existe également un ensemble de méthodes qui croisent les informations des 3 catégories précédemment citées.

3.1 Les méthodes hydrologiques.

3.1.1 Principes.

Ces méthodes ont été les premières à être mises au point. Elles reposent toutes sur l'analyse du cycle hydrologique naturel et plus particulièrement sur les valeurs caractéristiques des conditions d'étiage.

Elles font le postulat du rôle clé de l'hydrologie et plus particulièrement des bas débits dans le fonctionnement des cours d'eau et sur la nécessité de maintenir un certain niveau de débit proportionnel à la situation naturelle afin de garantir un niveau minimum de perturbations.

3.1.2 Niveaux d'utilisation.

Ces méthodes sont utilisées dans de nombreux pays. Au Canada ou en Grande-Bretagne, elles représentent plus de 40% des utilisations dans les problématiques de débit minimum voir plus de 50% en Espagne ou au Portugal. Aux USA, elles sont utilisées dans 25% des cas (Tharme, 2003).

3.1.3 Descriptions.

Les différentes méthodes hydrologiques se classent en 3 catégories selon le type de données de débit qu'elles utilisent.

- Les méthodes s'appuyant sur les courbes de débits classés.

Ces méthodes se basent sur la courbe des débits classés du cours d'eau et définissent des valeurs seuils pour fixer le débit minimum. On retrouve de nombreuses valeurs parmi lesquelles :

- o le Q99, Q97.5, Q95 ou le Q90 qui retiennent les valeurs de débits dépassées pendant 99%, 97.5%, 95% ou 90% du temps dans l'année,
- Les méthodes s'appuyant sur des valeurs moyennes de débits associées à des durées.

Ces méthodes utilisent les valeurs moyennes de débits pendant des périodes de temps donné. Elles correspondent aux VCN. Au Brésil, en Amérique du Nord ou en Italie, c'est la valeur du débit moyen sur 7 jours consécutifs avec une probabilité de n'être dépassée qu'une fois tous les 10 ans qui est utilisée.

- Les méthodes s'appuyant sur le pourcentage d'une valeur caractéristique du régime hydrologique :
 - o Valeurs caractéristiques des étiages : 30-75% des débits moyens minimum mensuels de retour 5 ans (Nouvelle-Zélande),
 - o Valeurs de débit moyen interannuel : de 2,5 à 50% selon les pays et les régions.

L'ensemble de ces méthodes demande une bonne connaissance de l'hydrologie naturelle du cours d'eau sur une période de temps relativement longue afin de fournir des valeurs statistiques fiables.

Ces méthodes ne reposent pas directement sur des validations biologiques. Aucune étude permettant de relier un état écologique d'un cours d'eau avec une valeur caractéristique des étiages n'est en effet disponible. Seule les travaux de Tennant sur les cours d'eau du Montana ont permis de fournir une base sur la relation entre débit minimum exprimé en % du module et situation morphologique et biologique du cours d'eau.

3.1.4 Exemples de résultats.

Afin de fournir des éléments guides concernant les méthodes hydrologiques, nous avons analysé les régimes hydrologiques de 74 stations de la banque HYDRO représentant différents types de régimes hydrologiques dans différentes régions.

Nous avons ainsi extrait les valeurs caractéristiques des étiages (QMNA, QMNA5, VCN3 et VCN10) ainsi que celles utilisées dans un certain nombre de méthodes (Q90, Q95, Q99).

	Moyenne (en % du module)	Médiane (en % du module)	1 ^{er} quartile (en % du module)	Nombre de sites <10% du module
QMNA5	17.9%	15.6%	11.6%	21.6%
QMNA	24.4%	21.2%	16.8%	5.4%
VCN3	17.4%	14.3%	9.3%	29.7%
VCN10	18.9%	15.6%	10.7%	14.9%
Q90	21.9%	19.7%	14.4%	6.8%
Q95	17.9%	14.9%	10.9%	21.6%
Q364	10.1%	6.9%	4.6%	70.3%
VCN7₁₀	12.0%	8.8%	5.5%	56.0%

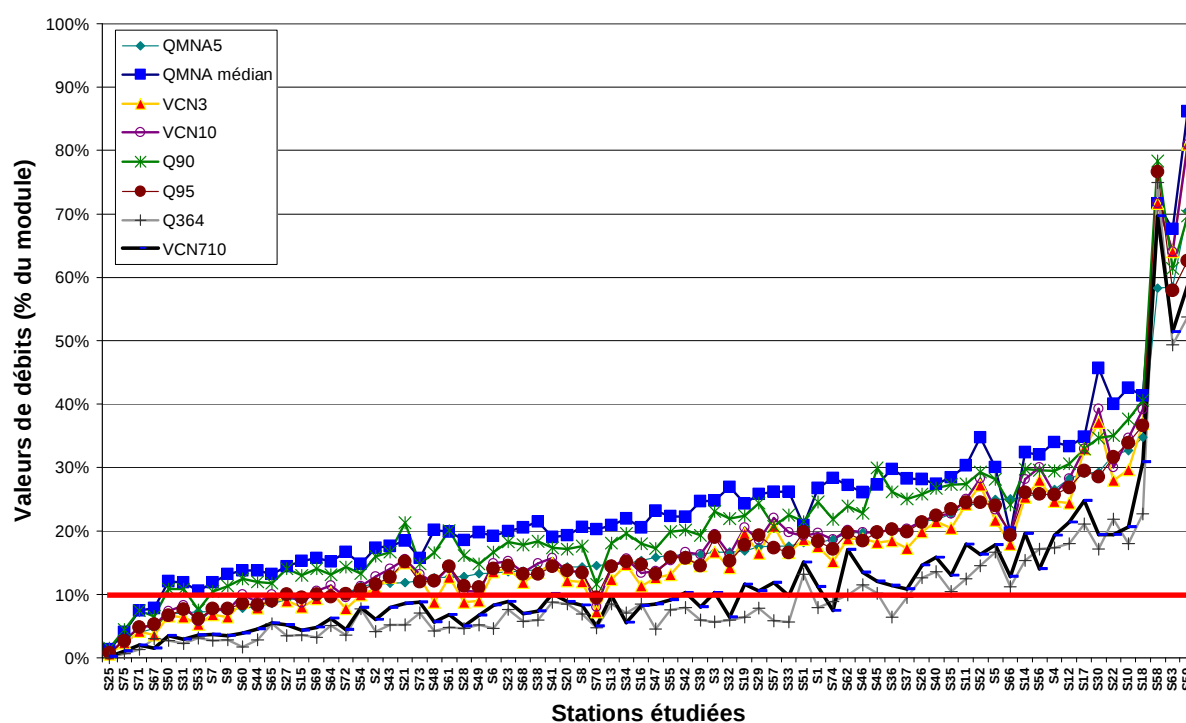
Moyennes des caractéristiques d'étiage et des valeurs utilisées dans certaines méthodes hydrologiques exprimées en % du module.

Les valeurs moyennes et médianes caractérisant les étiages sur les 74 stations étudiées sont toujours supérieures au 1/10^{ème} du module à l'exception des valeurs du Q364 qui correspond au débit minimal journalier rencontré 1 jour par an et du VCN7 de retour 10 ans. Pour plus de 75% des sites, les valeurs sont proches ou supérieures au 1/10^{ème} du module pour quasiment toutes les variables étudiées.

En terme de débits mensuels, seuls 21,6% des sites présentent des débits d'étiage mensuels de retour 5 ans inférieurs au 1/10^{ème} du module et cette valeur tombe à 5,4% pour les moyennes interannuelles (QMNA). Le 1/10^{ème} du module représente 65% du QMNA5 et 50% du QMNA pour plus de la moitié des sites.

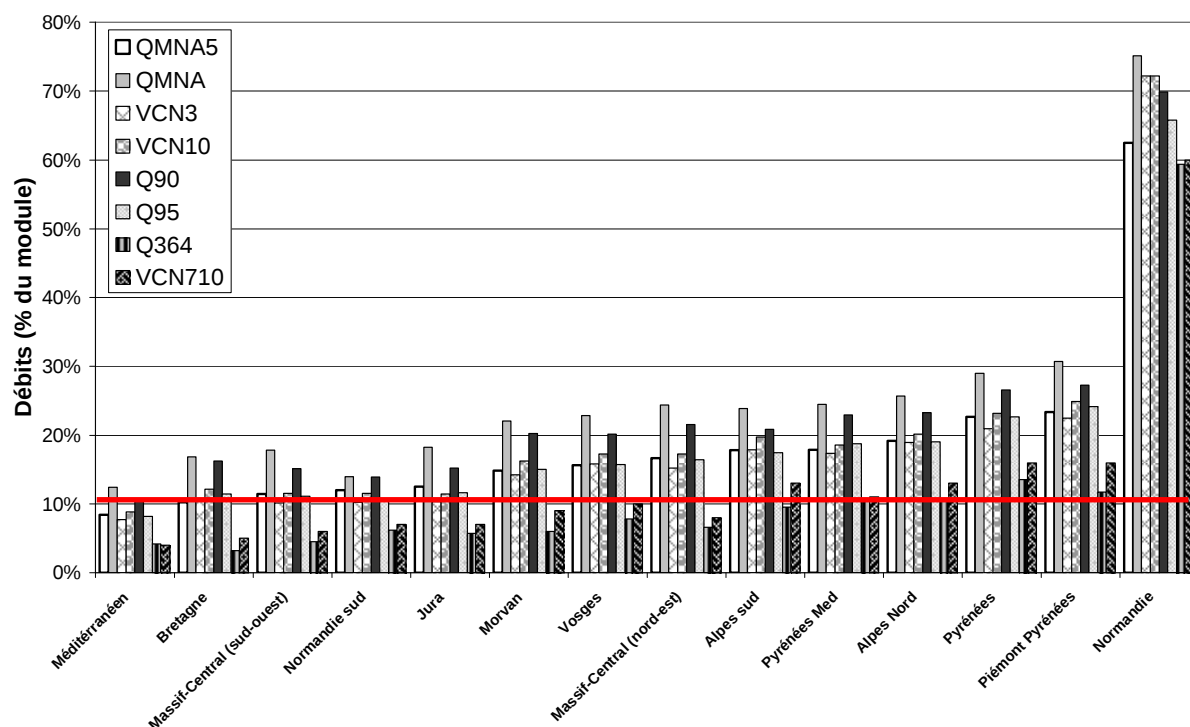
Les moyennes des valeurs d'étiage sur 3 jours consécutifs sont inférieures à 10% du module dans 30% des sites. En terme de débits classés, le 1/10^{ème} du module ne correspond

au débit dépassé 90% du temps que pour seulement 7% des stations retenues.



Valeurs caractéristiques des débits d'étiages pour les 74 stations étudiées.

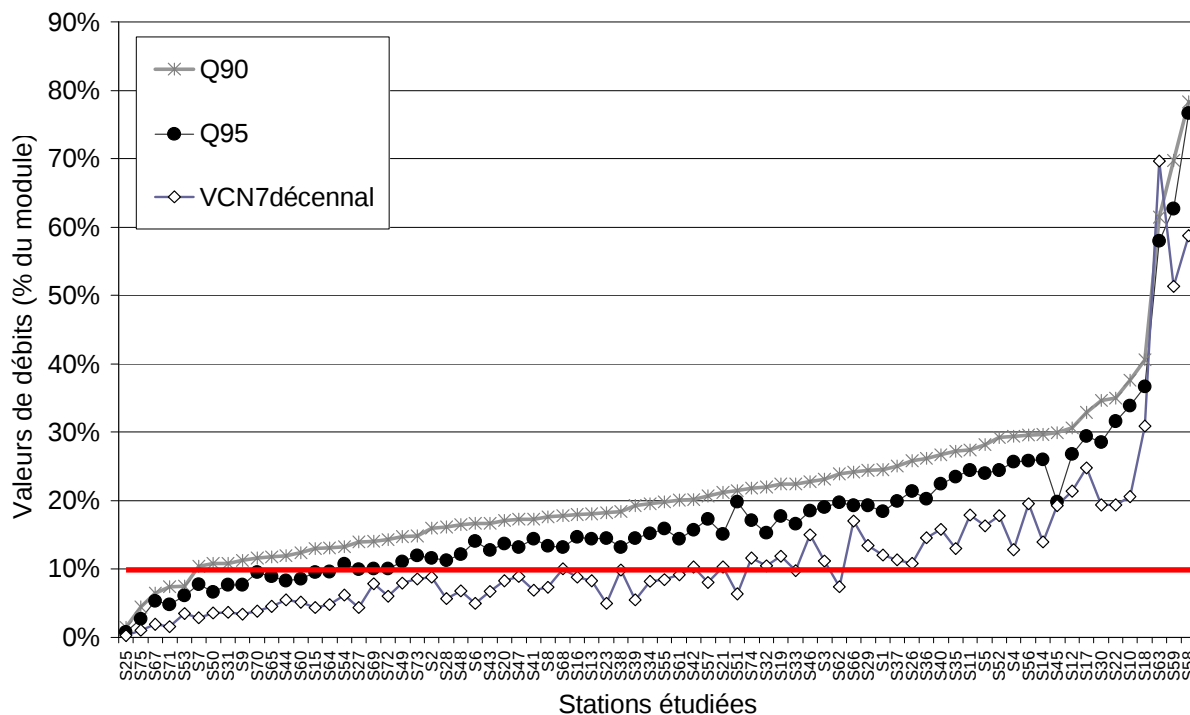
Les débits caractéristiques d'étiage inférieurs à 10% du module ne sont pas des situations très fréquentes ni dans le temps ni à l'échelle du territoire Français.



Valeurs caractéristiques des étiages naturels sur 74 stations réparties dans différentes régions de France.

Il existe une forte variabilité régionale en terme de débits minimum d'étiage. La hiérarchie s'établit depuis les cours d'eau méditerranéens jusqu'aux rivières de nappes

Normandes (Bresle, Durdent, Touques...) en passant par les rivières de Bretagne, du sud de la Normandie, du Massif-Central (bassin de la Dordogne) des Vosges puis des deux grands massifs montagneux que sont les Alpes et les Pyrénées. Globalement, hormis sur la façade ouest du Massif-Central et dans le Jura, les cours d'eau de montagne fortement utilisés pour la production hydroélectrique présentent des débits d'étiage largement supérieurs à 10% du module. Dans les Alpes, les Pyrénées et même les cours d'eau de la partie amont du bassin de la Loire, les débits d'étiage mensuels varient entre 16 et 30% du module. Dans les Pyrénées, seuls le Q364 est proche du 1/10^{ème} du module. Dans zones de haute de montagne, seul les cours d'eau de très haute altitude soumis à la prise en glace et en neige peuvent présenter des valeurs ponctuellement inférieures à 10% du module.



Valeurs des Q90, Q95 et VNC7 décennal pour les 74 stations étudiées.

L'application des méthodes hydrologiques basées sur les débits classés (Q90 et Q95) fournit donc des valeurs comprises entre 0,7 et 54% du module pour le Q95 et 1,4% et 62% pour le Q90. Dans plus de 75% des situations, les deux valeurs sont supérieures à 10% du module. Seules l'application de valeurs seuils comme le Q364 ou le VCN7 décennal fournissent des références inférieures à 10% du module pour de nombreuses rivières.

Il est toutefois important de souligner que ces valeurs correspondent à des situations d'étiage très extrêmes et dont la fréquence ne peut constituer un élément structurant pour les communautés biologiques qui fonctionnent à entre l'échelle annuelle et quinquennale. Le VCN7 décennal ne peut constituer une base méthodologique fiable pour garantir le fonctionnement de l'écosystème. Il représente des conditions extrêmement sévères pour la vie aquatique (IFC, 2002).

3.1.5 Intérêts d'application.

Les méthodes basées sur les cycles hydrologiques permettent souvent une approche simple et relativement rapide en terme de valeurs de débit minimum. Elles réclament une bonne analyse des cycles hydrologiques et notamment une bonne description des situations d'étiage ce qui permet d'effectuer une réelle comparaison avec la situation modifiée par un projet de prélèvement ou de dérivation.

Elles constituent une base de référence pour la mise en œuvre d'autres méthodes car elles permettent de remettre en perspective la valeur de débit minimum proposée pour un aménagement avec les conditions naturelles d'étiage.

3.1.6 Limites d'application.

Ces méthodes comportent toutefois un certain nombre de limites.

Aucune des valeurs guides indiquées dans les méthodes (Q99, Q97.5, Q95, Q90, Q95, VCN7 décennale, pourcentage du module ou des étiages mensuels...) ne reposent réellement sur des bases hydromorphologiques, hydrauliques ou écologiques. Elles n'ont pas été directement fixées à partir du croisement de chroniques hydrologiques et de chroniques biologiques indiquant les seuils en dessous desquels la qualité écologique des écosystèmes diminuait très significativement. De la même façon, aucune étude n'a réellement montré qu'en moyenne les paramètres hydrauliques et les surfaces mouillées diminuaient très nettement pour des débits inférieurs au Q90, au Q95 ou au Q99.

Les méthodes hydrologiques réclament également une bonne connaissance des cycles de débits avec des chroniques relativement longues et surtout des situations hydrologiques peu perturbées en étiage ce qui est assez peu souvent le cas.

Si elles ne sont pas régionalisées, ce qui est rarement le cas, ces méthodes ne tiennent alors pas compte de la morphologie du cours d'eau qui peut largement influencer la sensibilité des communautés biologiques (Beecher, 1990).

3.1.7 Préconisations pour l'utilisation de ces méthodes.

- Disposer de chroniques hydrologiques de référence (peu perturbées par des prélèvements et/ou des transferts) relativement longues (plus de 10 années) soit dans le bassin concerné soit dans un bassin aux caractéristiques les plus proches possibles,
- Analyser les étiages du cours d'eau tant au niveau des valeurs moyennes mensuelles que des durées. Les valeurs de retour biennuel et les durées continues supérieures à 10 jours constituent des références écologiquement pertinentes pour le fonctionnement écologique du cours d'eau. Les valeurs caractérisant des étiages de retour supérieur à 5 ans représentent des conditions exceptionnelles et non des références pour le fonctionnement de la rivière. Le choix de ce type de valeur minimale constituera une altération très significative des conditions d'étiage pour le cours d'eau.
- L'analyse devra s'appuyer sur les valeurs moyennes mais aussi sur la variabilité des conditions d'étiage. En effet, pour une même valeur moyenne, certains cours d'eau peuvent présenter de très fortes variations inter-annuelles alors que d'autres seront beaucoup plus stables.

3.2 **Les méthodes hydrauliques**

3.2.1 Principes.

Les méthodes hydrauliques ont été développées dans les années 1960-1970. Il en existe environ 23 (Tharme 2003) dont beaucoup concernent des cours d'eau à salmonidés. La plus utilisée est la méthode dite du périmètre mouillé.

Le principe de ces méthodes repose sur l'étude des variations des paramètres hydrauliques et des surfaces en eau en fonction de la valeur de débit. Ces relations sont de type puissance :

$$Largeur = Débit^{(0.45 / 0.54)} \quad (\text{Park, 1977 ; Kellerhals et Church, 1989 ; Mosley, 1982}).$$

Elles font le postulat qu'une réduction significative de certains paramètres et notamment des surfaces mouillées peut avoir des incidences fortes sur les communautés biologiques

notamment par l'intermédiaire d'une perte des surfaces de production de nourriture (périphyton, invertébrés) que sont les substrats du fond (White, 1976 ; Jowett, 1997). Ces différentes méthodes proposent de définir une valeur de débit minimum qui correspond à celle à partir de laquelle les caractéristiques hydrauliques (surtout les profondeurs) et les surfaces en eau diminuent très significativement. L'objectif est de maintenir un maximum de surface de production en eau.

3.2.2 Niveaux d'applications

Les méthodes hydrauliques sont moins utilisées que les approches hydrologiques. Aux USA, elles représentent 25% des utilisations, tandis qu'elles ne sont appliquées que dans 2 à 5% des cas au Canada, en Grande-Bretagne ou en Australie. La faiblesse de leur usage tient au fait qu'avec le développement des méthodes d'habitat croisant les paramètres hydrauliques avec les préférences écologiques des espèces, il est aujourd'hui très simple de passer rapidement d'une évolution des conditions hydrauliques en fonction du débit à une évolution de l'habitat. Ces méthodes ne constituent donc plus souvent qu'un complément aux méthodes d'habitat.

3.2.3 Descriptions.

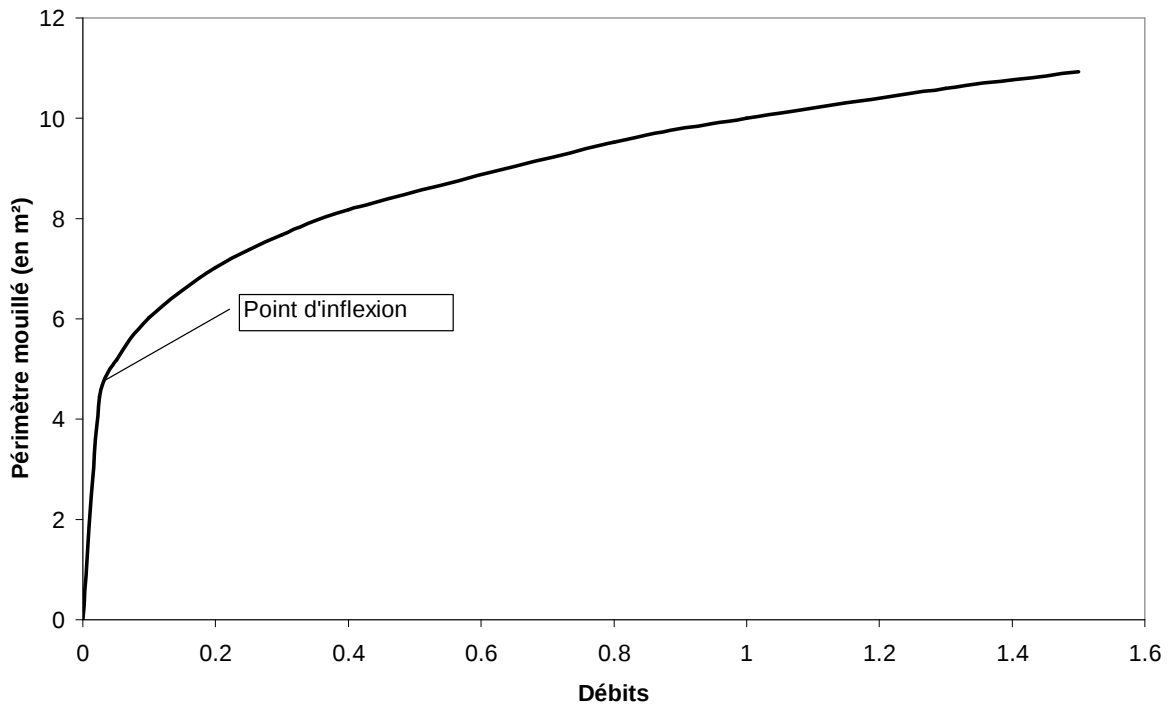
Toutes les méthodes adoptent pratiquement le même protocole. Sur une station représentative, les conditions hydrauliques de hauteurs d'eau et de vitesses de courant sont décrites à partir de transects à une valeur de débit donné. Ensuite, soit ces mesures sont répétées à plusieurs débits soit des modèles hydrauliques sont utilisés afin de calculer les valeurs des paramètres à différents débits.

L'évolution de plusieurs caractéristiques peut être appréhendée :

- les vitesses et hauteurs d'eau moyenne,
- les largeurs mouillées,
- le périmètre mouillée.

L'analyse peut porter sur la totalité de la station ou uniquement sur les faciès jugés les plus sensibles lors des variations de débits (en général, les faciès de type radier).

Une fois les relations établies, la valeur de débit minimum retenue correspond ne général au point d'inflexion de la courbe.



Evolution du périmètre mouillé en fonction du débit et définition de la valeur seuil de débit correspond au point d'inflexion de la fonction $P = f(Q)$.

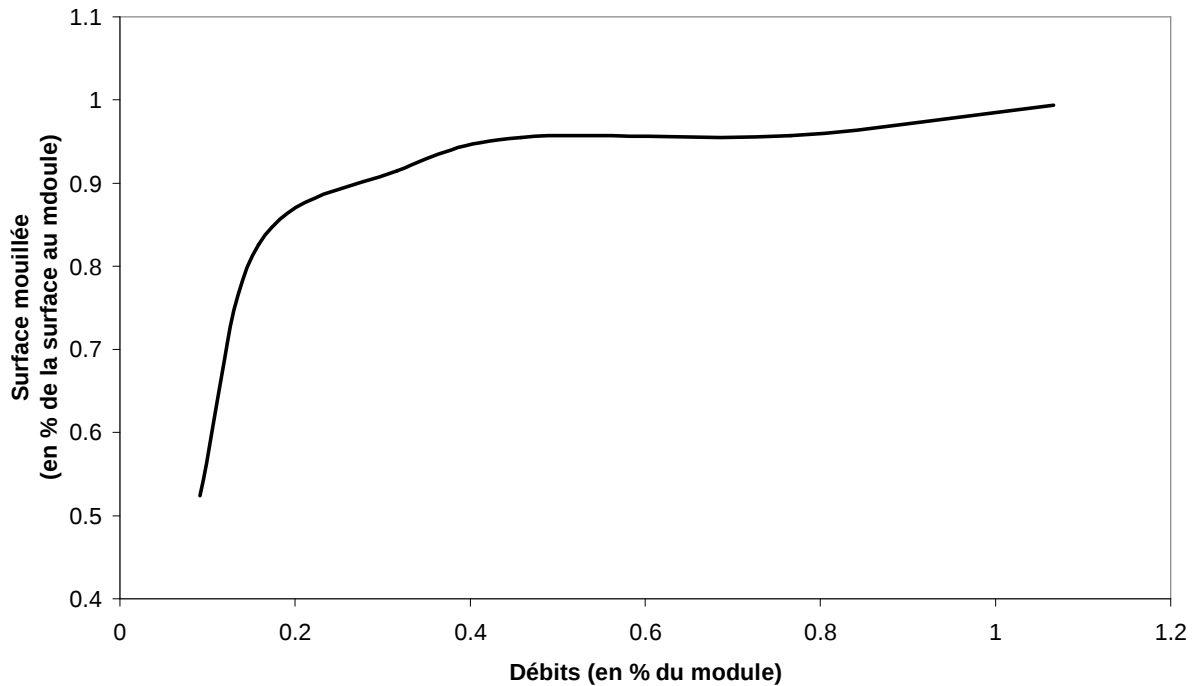
3.2.4 Exemples de résultats.

3.2.4.1 *Application sur des cours d'eau Français.*

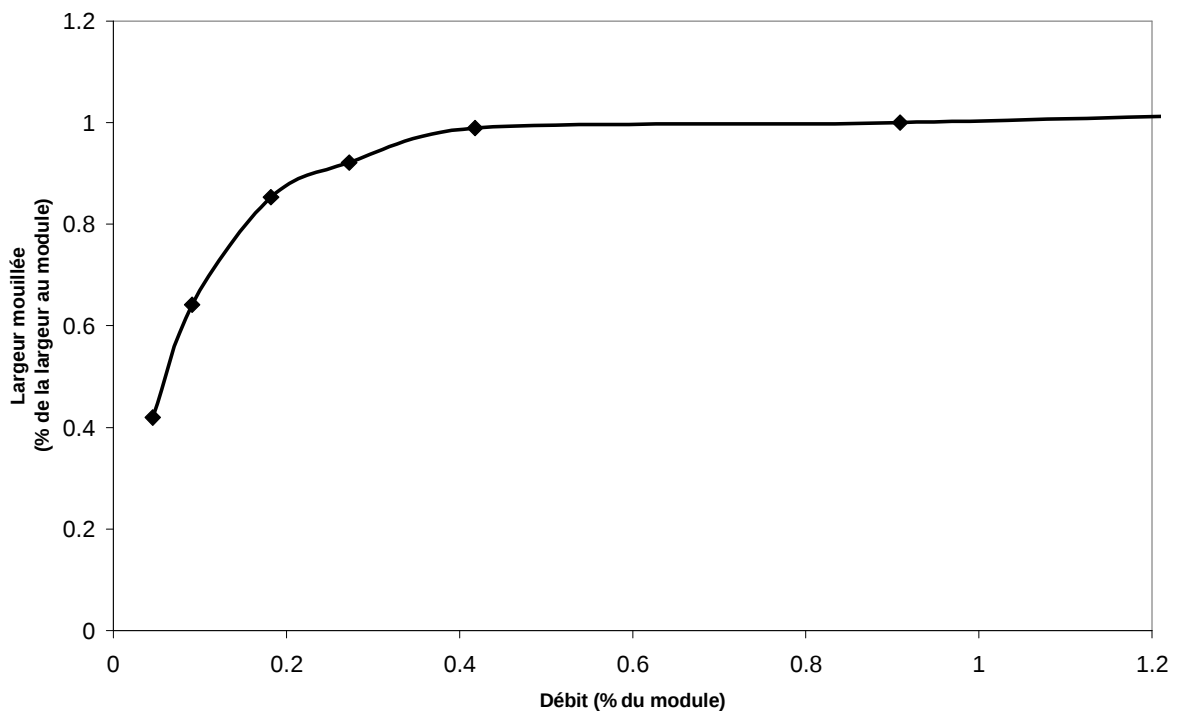
Nous avons étudié 2 situations différentes de cours d'eau :

- Un cours d'eau de basse montagne avec un module de 5,5 m³/s et une pente de 0,4% (alternance de faciès plat courant/radier),
- Un cours d'eau de moyenne montagne avec un module de 1,2 m³/s et une pente de 1,5% (alternance de faciès plat/escalier/rapide/profond),

Sur ces 2 cours d'eau des mesures de largeur mouillée et de profondeur ont été effectuées par transect à différentes valeurs de débits.



Evolution de la largeur mouillée en fonction du débit – cours d'eau de moyenne montagne

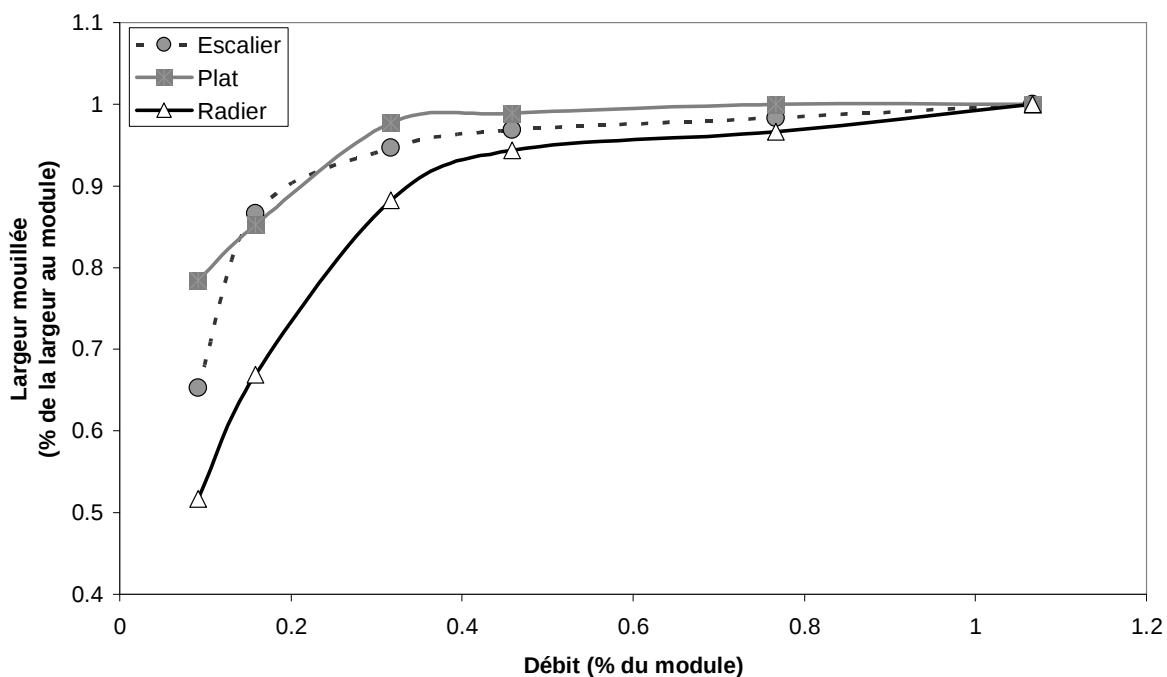


Evolution de la largeur mouillée en fonction du débit – cours d'eau de basse montagne.

Sur les 2 cours d'eau étudiés, l'évolution de la surface mouillée en fonction du débit est relativement similaire. Sur le cours d'eau de moyenne montagne, la diminution est très forte entre 18 et 10% du module. Entre 20 et 30% les pertes sont moins significatives. Pour un débit de 30% du module, la largeur mouillée du cours d'eau est supérieure à 90% de celle du module.

Pour le cours d'eau de basse montagne les pertes de surfaces mouillées sont fortes pour des valeurs de débits inférieures à 25% du module. Là encore, à partir d'un débit de 30% du module, on retrouve plus de 90% des surfaces mouillées du module.

Pour les 2 cours d'eau, le débit minimum retenu correspondant au point de basculement de la courbe se situe à des valeurs de 17 à 19% du module.

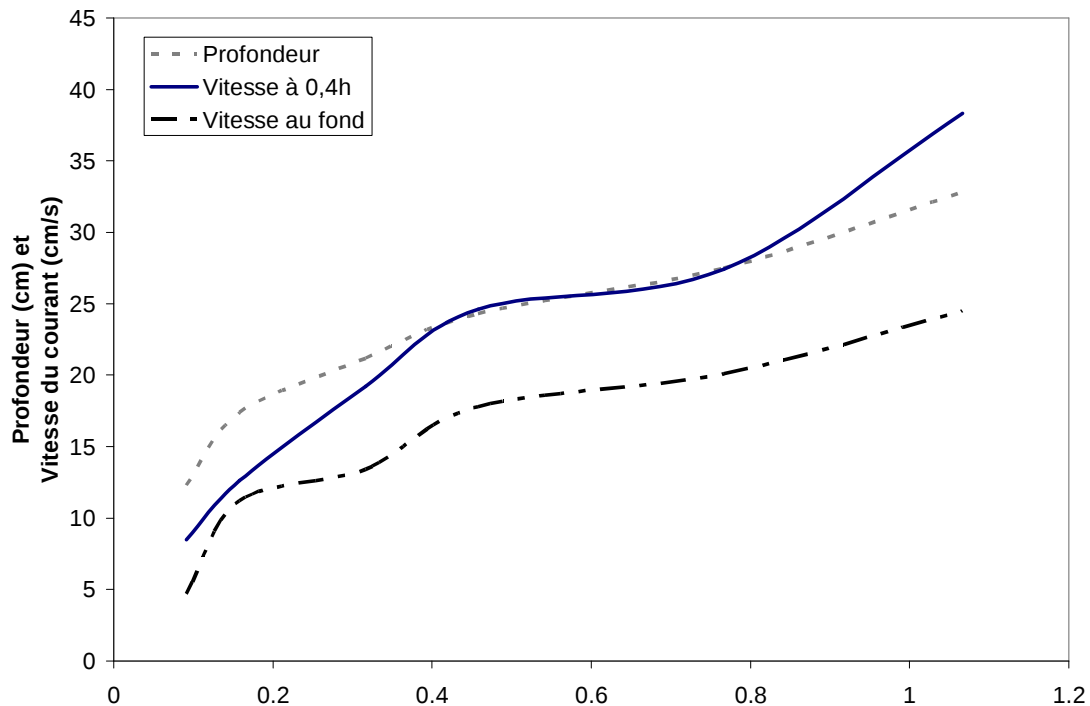


Evolution des largeurs mouillées en fonction du débit pour 3 types de faciès d'écoulement du cours d'eau de moyenne montagne.

Les évolutions de largeur mouillée diffèrent selon le type de faciès d'écoulement. Le faciès radier est le plus sensible des trois à la perte de surface mouillée. Le point de basculement de la courbe se situe à 27% du module. Pour le faciès escalier la valeur est de l'ordre de 18% tandis que pour le faciès plat, les pertes de surfaces mouillées sont nettement moins significatives dans la gamme de débit étudiée. Il est plus difficile pour ce faciès de définir une valeur seuil critique.

La morphologie des faciès influence donc fortement l'évolution de la surface mouillée en fonction des débits. Les radiers constituent les habitats les plus sensibles avec une perte significative pour des débits inférieurs à 25-30% du module.

Pour la rivière de basse montagne, les différences entre faciès plat et radier sont moins marquées avec une sensibilité relativement similaire entre les 2 habitats et une valeur seuil de débit de l'ordre de 16% du module pour le plat et 23% pour le radier.



Evolution des valeurs de profondeurs et de vitesses du courant en fonction du débit – cours d'eau de moyenne montagne.

Les hauteurs d'eau moyenne augmentent avec la valeur de débit avec deux plages différentes :

- un gain significatif entre 10 et 20% du module, (+60%)
- une augmentation linéaire mais moins marquée entre 20 et 100% (+50%).

A noter que les valeurs restent relativement faibles (<25 cm pour la profondeur et 25 cm/s pour les vitesses) pour une large gamme de débits (<30% du module).

L'évolution des vitesses moyennes au fond est assez similaire à celle de la profondeur alors que la vitesse à 40% de la hauteur continue d'augmenter régulièrement notamment pour les valeurs de débits proches du module.

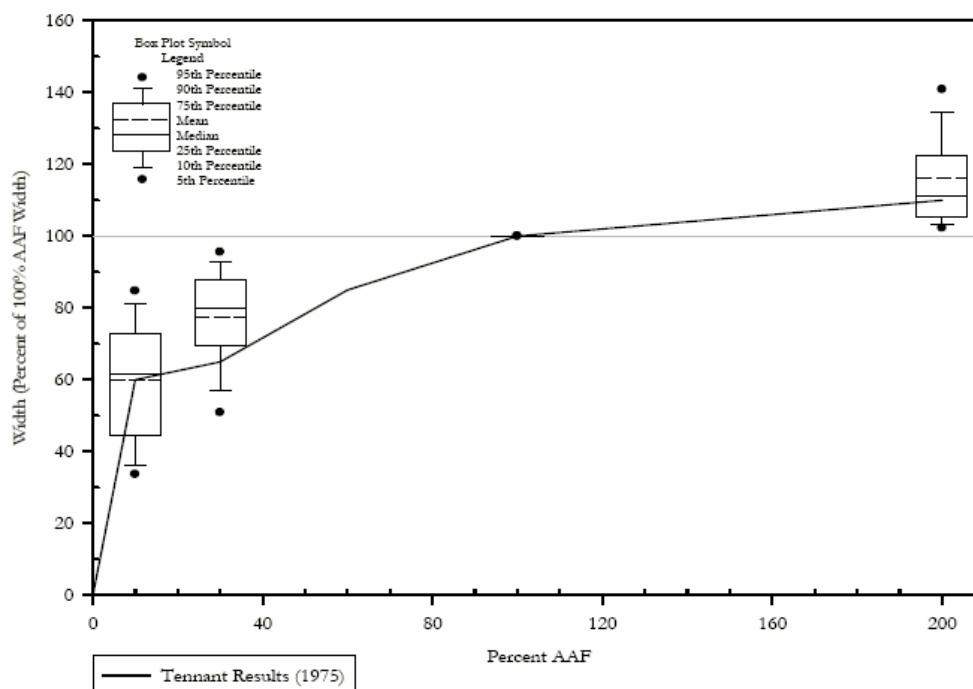
Les caractéristiques hydrauliques présentent donc elles aussi une évolution avec un point de basculement notamment des hauteurs d'eau. Il est important de souligner que ces caractéristiques augmentent constamment avec le débit du cours d'eau contrairement à la surface mouillée.

3.2.4.2 Application sur aux USA.

La méthode hydraulique du périmètre mouillé a été appliquée dans différents cours d'eau des Etats-Unis et comparé aux résultats de Tennant (O'Shea, 1995 ; Mann, 2006).

Des relevés ont été effectués sur 58 stations appartenant à 11 rivières du Nebraska, du Wyoming et du Montana (rivière à lit plat et courant, rivières en escalier, rivière à succession mouille/radier ; rivière lente à lit de sable).

Les points d'inflexion de la courbe périmètre mouillé=f(débit) se situent en moyenne à 16,7% du module. Selon le type de cours d'eau et le modèle hydraulique utilisé, les valeurs varient de 10% à 35%.



Evolution comparée de la largeur mouillée en fonction du débit sur 11 cours d'eau des USA et des résultats fournis par Tennant. La largeur (width) est exprimée en % de la valeur au module et le débit est également en % du module (AAF).

La pente du cours d'eau influence beaucoup le résultat. Les valeurs minimales de débit en-deçà desquelles le périmètre mouillé diminue très significativement sont hiérarchiquement plus fortes :

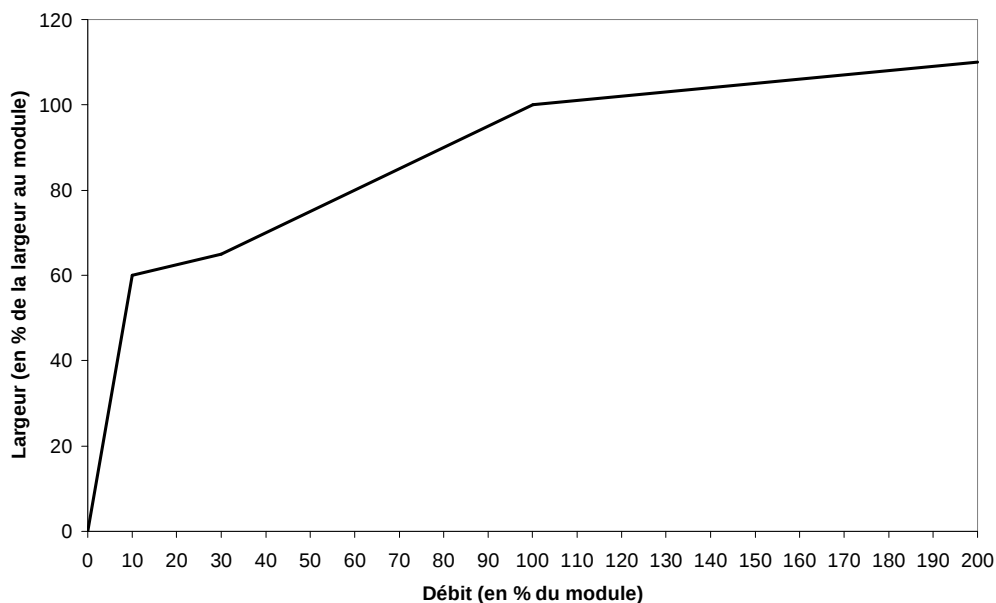
Cours d'eau à mouille/radier > cours d'eau plat courant > cours d'eau en escalier > cours d'eau lent à fond sableux.

Dans son étude sur 27 rivières du Minnesota, O'Shea (1995) montre que les points de basculement des relations périmètre mouillé/débit évoluent en fonction de la taille du cours d'eau. Il indique en revanche des valeurs relativement fortes entre 40 et 100% du module.

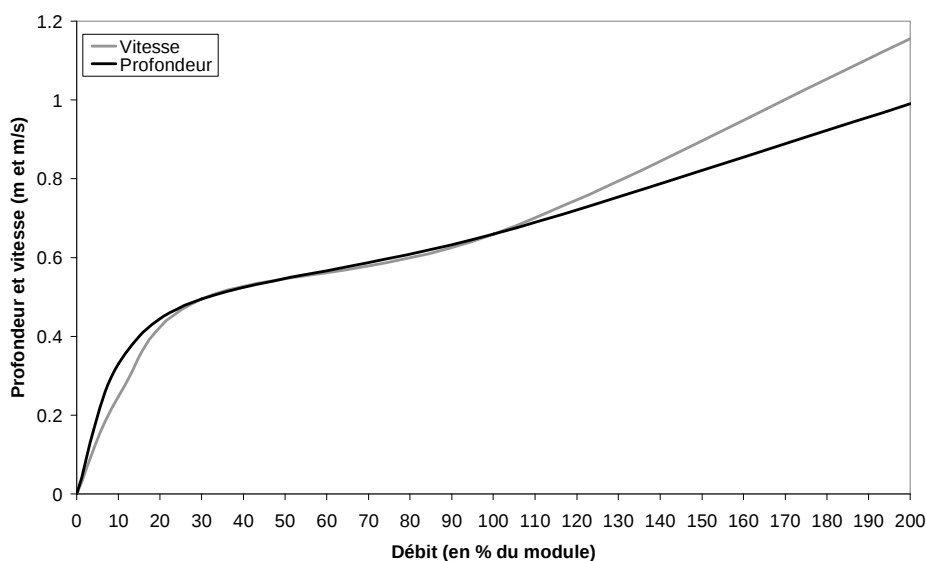
Sur une rivière Ardennaise (pente 1%, module 1,78 m³/s), Ovidio *et al.* (2008) mettent en évidence une relation entre la surface mouillée et le débit avec un point d'inflexion situé entre 18 et 20% du module.

3.2.4.3 La méthode Tennant ou méthode du Montana (Tennant, 1975 ; 1976).

Ce travail a été réalisé sur 58 stations appartenant à 11 cours d'eau du Montana, du Nebraska et du Wyoming avec à la fois des espèces d'eau froides et des espèces d'eaux chaudes. Sur chaque station, des informations concernant la largeur, les profondeurs, les vitesses, la morphologie du chenal, les poissons et leurs possibilités de migration, les invertébrés et l'aspect « esthétique » ont été collectés. Tennant a relié l'évolution des différents paramètres au débit ainsi qu'une estimation globale de qualité de l'habitat des poissons.



Evolution de la largeur mouillée moyenne des 58 stations étudiées par Tennant d'eau en fonction du débit



Evolution des profondeurs et vitesses moyennes des 58 stations étudiées par Tennant d'eau en fonction du débit.

L'évolution des caractéristiques hydrauliques et de la surface en eau en fonction du débit montre une réduction très significative pour des débits inférieurs à 15-20% du module.

A l'issue de son analyse, l'auteur a proposé différents niveaux de recommandations de débits exprimés en pourcentage du module et relier chacun à une situation en terme d'habitat des poissons ceci pour deux périodes distinctes, d'avril à septembre et d'octobre à mars.

Situation des habitats piscicoles	Recommandations de débits (% du module) octobre – mars	Recommandations de débits (% du module) avril - septembre
Maximum	200%	200%
Optimum	60 – 100%	60 - 100%
	40%	60%
Excellent	30%	50%
Bon	20%	40%
Dégradé	10%	30%
Minimum	10%	10%
Très dégradé	0-10%	0-10%

**Recommandations de débit (en % du module) formulées par Tennant après
analyse des relations entre l'habitat des poissons et le débit sur 58 stations de 11
cours d'eau des USA.**

L'approche de Tennant n'a donc pas fourni réellement une méthode mais une grille de décision évaluant un niveau de risque pour l'habitat des poissons selon la valeur de débit minimum choisie et exprimée en pourcentage du module. Cette grille ne réclame qu'une connaissance du module. En cela, elle se classe dans les approches hydrologiques mais ses fondements sont basés sur la biologie et l'habitat.

Ce travail a largement été repris à travers de nombreux pays et notamment en France pour fixer des valeurs minimales de débit correspondant à un pourcentage fixe du module (2,5%, 5%, 10%).

3.2.5 Intérêts d'application.

Les méthodes hydrauliques réclament des investigations sur le terrain en matière de description de caractéristiques hydrauliques et morphologiques. Elles permettent donc, contrairement aux méthodes hydrologiques, de tenir compte des spécificités morphologiques des cours d'eau (pente, rugosité des fonds, forme des berges).

Leur utilisation permet assez rapidement d'obtenir des éléments quant à la sensibilité du cours d'eau à la réduction du débit. Les évolutions de surfaces mouillées présentent des profils particuliers avec très souvent une valeur seuil de débit en-deça de laquelle une réduction très importante est observée.

3.2.6 Limites d'application.

Ces méthodes réclament comme toute investigation sur le terrain un choix pertinent et représentatif en matière de site de mesures.

Les éléments qu'elles appréhendent ne sont fondés que sur les caractéristiques physiques. Elles dépendent directement du rapport entre régime hydrologique et géométrie du lit. Aucun critère biologique n'est pris en compte. L'absence d'élément écologique limite les interprétations notamment sur les valeurs brutes des paramètres hydrauliques (des valeurs de 20 cm de profondeur ou de 10 cm/s de vitesse de courant sont-elles

satisfaisantes pour les espèces présentes ; les radiers ou les profonds jouent-ils un rôle majeur dans le fonctionnement des communautés biologiques ?).

Ces méthodes s'appliquent parfaitement dans des morphologies à chenal unique peu ou pas modifiées. Par contre, pour des cours d'eau en tresse, l'évolution est beaucoup plus complexe. L'identification d'un seul point de basculement dans la courbe largeur = f(débit) est beaucoup plus délicate. Plusieurs seuils pourront être détectés en fonction des bras mis en eau.

3.2.7 Préconisations d'utilisation.

- Disposer d'une ou plusieurs stations d'au moins 20 fois la largeur du cours d'eau et parfaitement représentatives du tronçon impacté par l'aménagement (éviter les singularités et notamment la partie aval des tronçons court-circuités dont la ligne d'eau peut être influencée par la restitution de l'usine),
- S'assurer de la pertinence de la modélisation hydraulique utilisée en effectuant au moins deux séries de mesures de largeur et de profondeur à des débits suffisamment différents,
- Se concentrer sur les habitats les plus impactés par la perte de surface mouillée (en général les radiers),
- Définir une valeur de débit minimal correspondant au seuil à partir duquel la surface mouillée et la hauteur d'eau diminuent significativement,
- Dans des tronçons à hydrologie modifiée, l'application de ces méthodes réclame des mesures sur une station de référence à morphologie similaire.

3.3 *Les méthodes d'habitat*

3.3.1 Principes.

Les méthodes d'habitat se sont développées à partir des années 1970 au USA et 1980 en France. Elles constituent aujourd'hui pratiquement 30% des méthodes disponibles. La plus connue d'entre elle en France est la méthode des microhabitats (Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) aux USA).

Le principe de ces méthodes repose sur la relation entre les organismes aquatiques et les conditions hydrauliques. Elles font plusieurs postulats :

- la majorité des organismes aquatiques d'eaux courantes présentent des préférences marquées pour les conditions hydrauliques (vitesse et hauteur d'eau) ainsi souvent que pour les substrats,
- les modifications de ces conditions hydrauliques en fonction des valeurs de débits affecteront donc les organismes aquatiques dans leur distribution, leur comportement et leur croissance,

En connaissant l'évolution des conditions hydrauliques dans un tronçon de cours d'eau en fonction du débit ainsi que les préférences des espèces présentes, il est donc possible d'établir une relation entre un potentiel d'accueil pour les espèces et la valeur de débit et ainsi d'effectuer un choix.

3.3.2 Niveaux d'applications

Actuellement, les méthodes d'habitat sont les plus développées (58 recensées dans le monde (Tharme, 2003)). Le corpus des méthodes issues des principes des microhabitats représente la majorité des développements.

En terme d'application, elles représentent de 5% à plus de 65% des méthodes utilisées dans la définition de valeurs de débit minimum (35% des utilisations aux USA).

3.3.3 Descriptions.

Ces méthodes se basent sur une description des caractéristiques hydrauliques, des substrats du fond et de la topographie d'un tronçon de rivière et le croisement à un débit donné de ces caractéristiques avec les préférences d'une ou plusieurs espèces cibles à différents stades de développement.

Aux USA, le principal outil utilisé est le Physical HABitat SIMulation (PHABSIM). En France, trois approches ont été développées :

- la méthode EVHA (Evaluation de l'Habitat), qui repose sur la caractérisation hydraulique et topographique d'une station et l'utilisation d'un modèle hydraulique pour calculer les différentes valeurs de vitesses et de hauteur d'eau à plusieurs débits,
- la méthode dite « EDF- Direction des Etudes et Recherches » qui mesure directement les conditions de hauteurs d'eau et de vitesses à différents débits,
- la méthode ESTIMHAB qui est une modélisation des résultats de la méthode EVHA. L'évolution des surfaces d'habitat disponibles en fonction du débit a été directement reliée à la géométrie du lit, aux grandeurs hydrauliques que sont le nombre de Froude et le nombre de Reynolds et à la valeur de débit médian du cours d'eau. On retrouve dans cette approche les principes des relations entre hydrauliques, surface mouillée et géométrie du cours d'eau qui dépend elle-même de l'hydrologie.

Trois éléments clés vont donc conditionner les résultats de ces approches :

- le choix des sites de mesures et le niveau de représentativité du tronçon de cours d'eau concerné,
- le choix des espèces cibles et de leur stade de développement ainsi que la connaissance de leur préférence pour les conditions hydrauliques et le substrat,
- la qualité de la modélisation hydraulique.

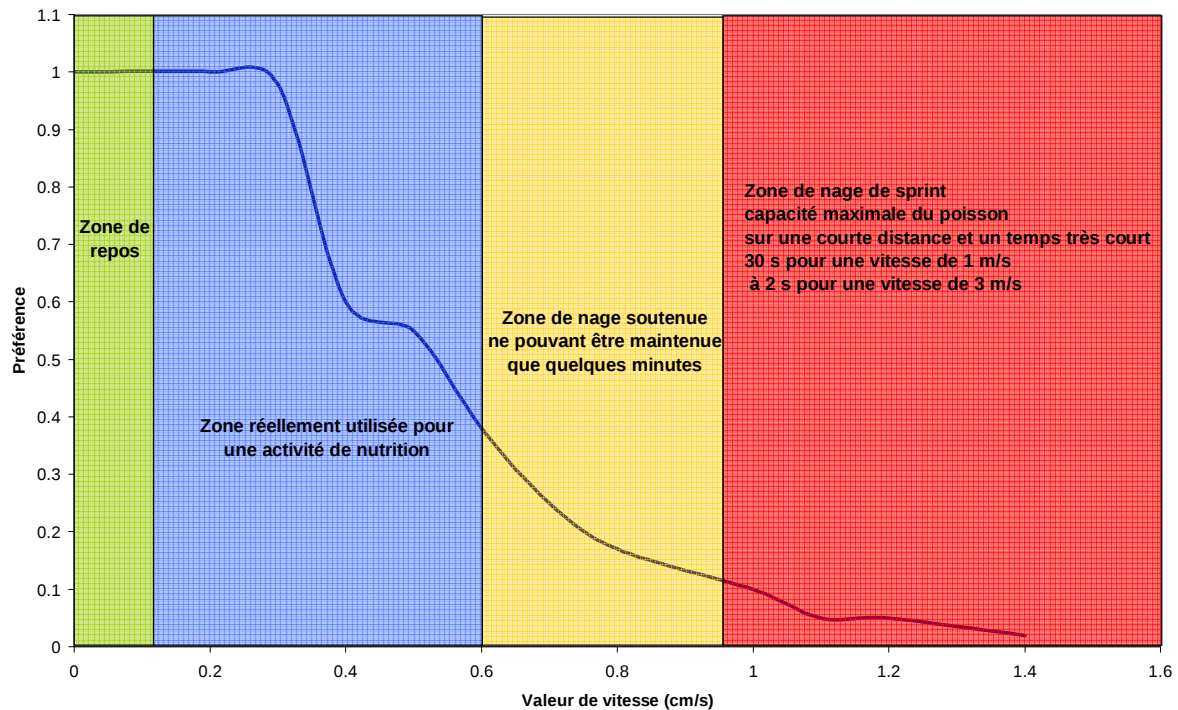
Des critères précis ont été définis dans les différentes approches Françaises afin d'assurer une bonne représentativité des sites d'étude (nombre de faciès d'écoulement, nombre de transects et de points de mesures).

Concernant les espèces, la majorité des développements ont été effectués pour la truite commune et dans une moindre mesure pour le saumon atlantique. Pour les autres espèces (principalement les cyprinidés d'eau vive), une caractérisation des préférences a été effectuée sur certains cours d'eau.

Le terme préférence recoupe en fait plusieurs aspects du comportement du poisson :

- la recherche de conditions hydrauliques et de substrat précises pour satisfaire un besoin particulier (reproduction, nutrition) ;
- la recherche de conditions hydrauliques assurant un minimum de dépense énergétique et un refuge pour le repos,
- les capacités de nage des espèces et des individus avec des valeurs limites ne permettant pas au poisson de se maintenir dans le cours d'eau.

Une courbe de préférence pour une espèce et un stade de développement englobe donc tous ces aspects et représente ainsi une description très générale de l'activité d'un individu.



Exemple de courbes de préférence de la truite adulte (>16-18cm) pour la vitesse du courant utilisée dans le modèle EVHA (source CEMAGREF).

Comme le montre l'exemple de la courbe de préférence de la truite commune pour la vitesse du courant, plusieurs types de comportement et de capacité de nage sont inclus dans cette courbe. Ces comportements n'ont pas du tout la même signification biologique et ne mettent pas en jeu les mêmes mécanismes physiologiques et les mêmes relations avec les congénères.

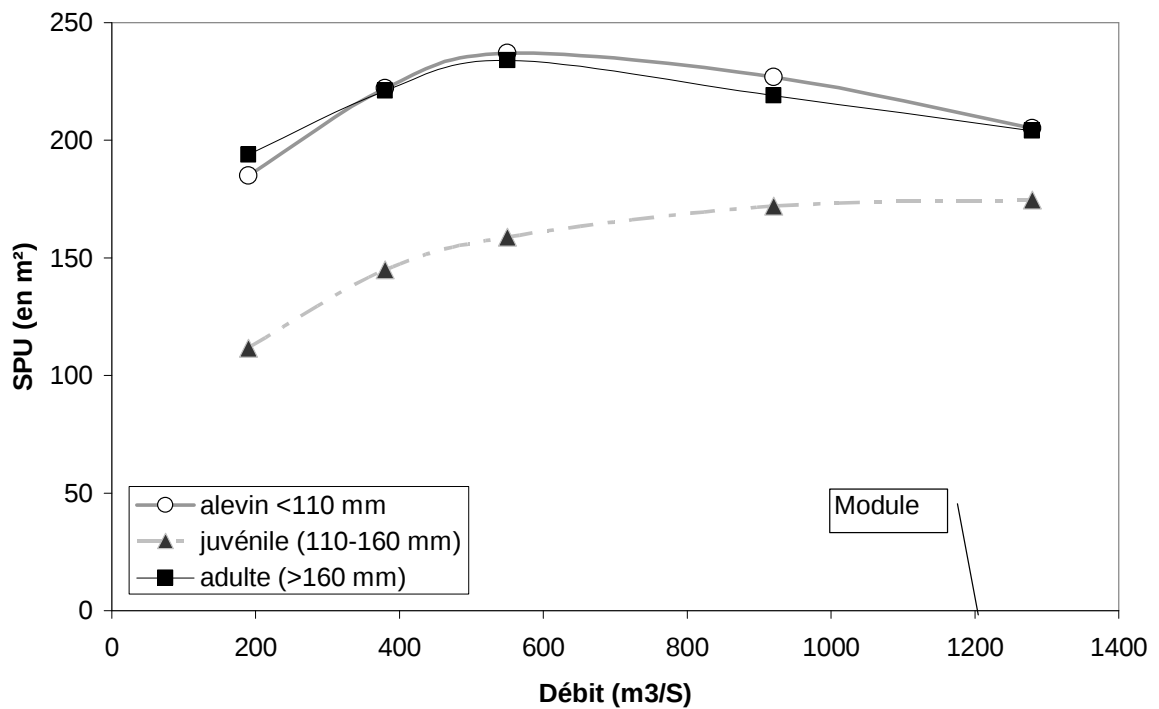
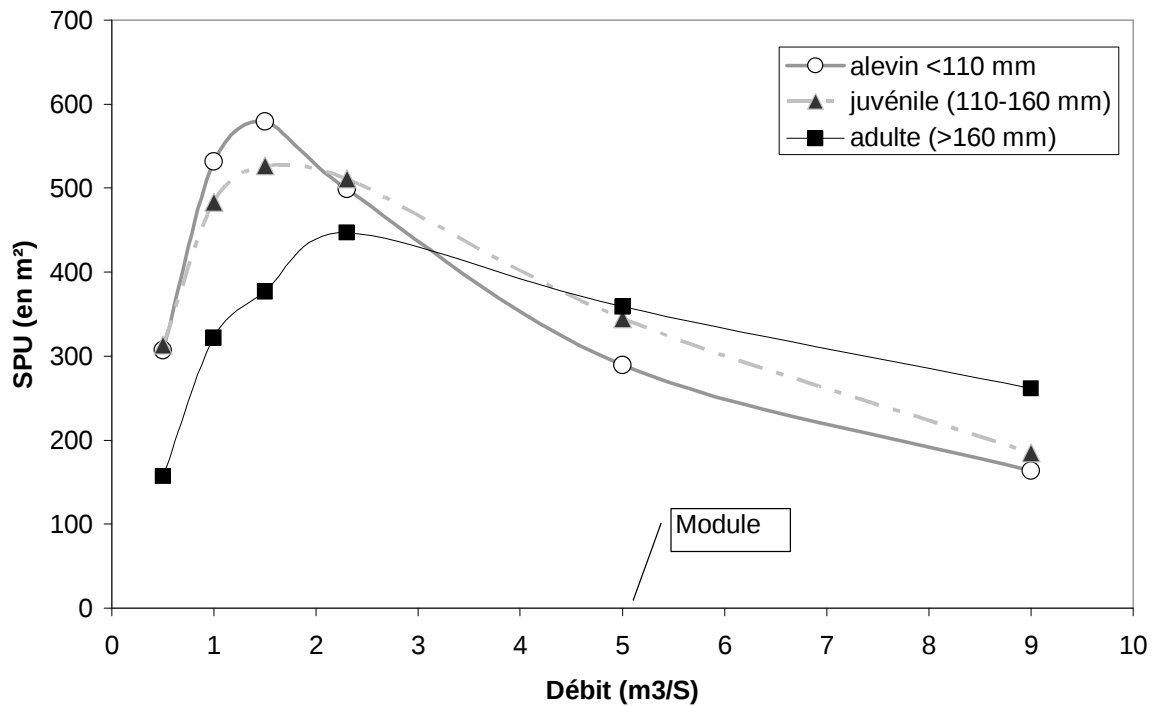
En matière de modélisation hydraulique, les outils développés permettent des approches globales sur des valeurs moyennes qui sont ensuite redistribuées en chaque point de mesures. Ces modèles sont très sensibles à la rugosité des fonds et aux conditions aval qui fixe l'évolution de la ligne d'eau.

3.3.4 Exemples de résultats.

Les applications de la méthode des microhabitats sont très nombreuses avec une très large majorité de cas pour des rivières de montagne et une espèce cible la truite commune.

Nous avons repris 2 situations différentes de cours d'eau déjà présentées dans les méthodes hydrauliques :

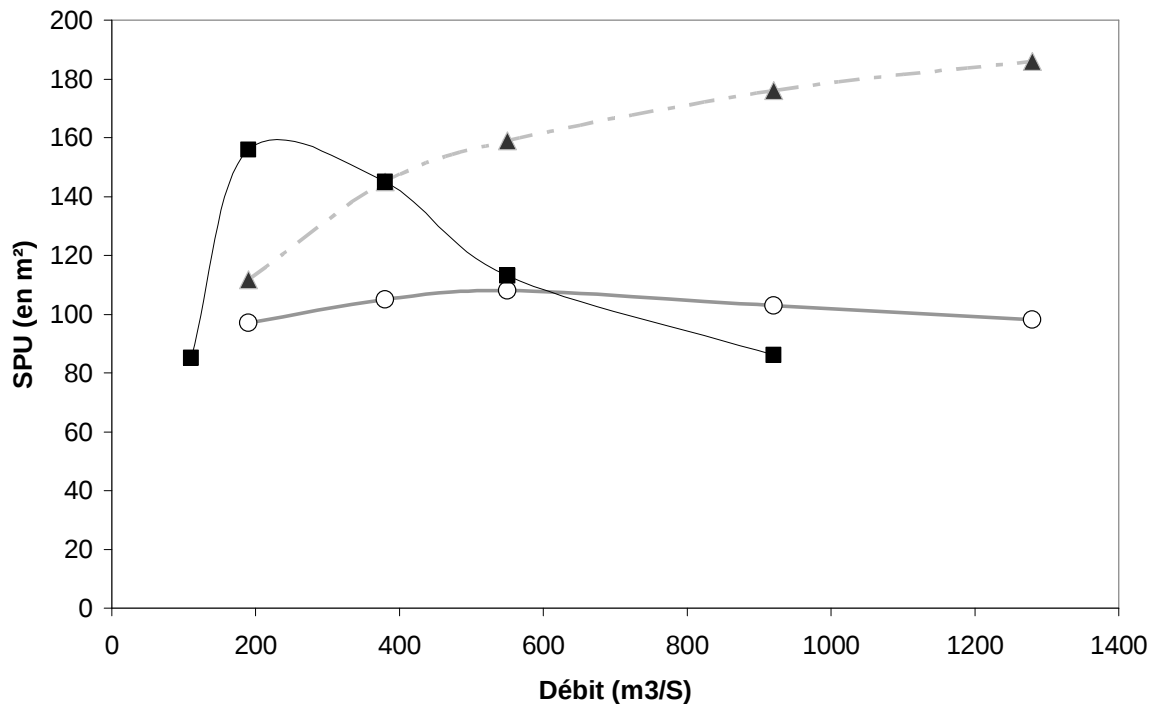
- Un cours d'eau de basse montagne avec un module de 5,5 m³/s et une pente de 0,4% (alternance de faciès plat courant/radier),
- Un cours d'eau de moyenne montagne avec un module de 1,2 m³/s et une pente de 1,5% (alternance de faciès plat/escalier/rapide/profond),



Exemples d'application de la méthode d'habitat sur deux cours d'eau de basse et moyenne montagne (SPU : Surface Pondérée Utile).

L'application des méthodes d'habitat permet de montrer l'évolution du potentiel d'accueil pour différents stades de développement d'une espèce donnée (la truite dans les 2 exemples précédents).

Les 3 stades de développement ne réagissent pas de la même manière. Les alevins et les juvéniles présentent des profils assez proches tandis que les adultes se différencient nettement. Cette situation est extrêmement fréquente.



Exemples de 3 types d'évolution caractéristiques de l'habitat de la truite adulte en fonction de la valeur de débit.

En général, trois types d'évolution sont observés :

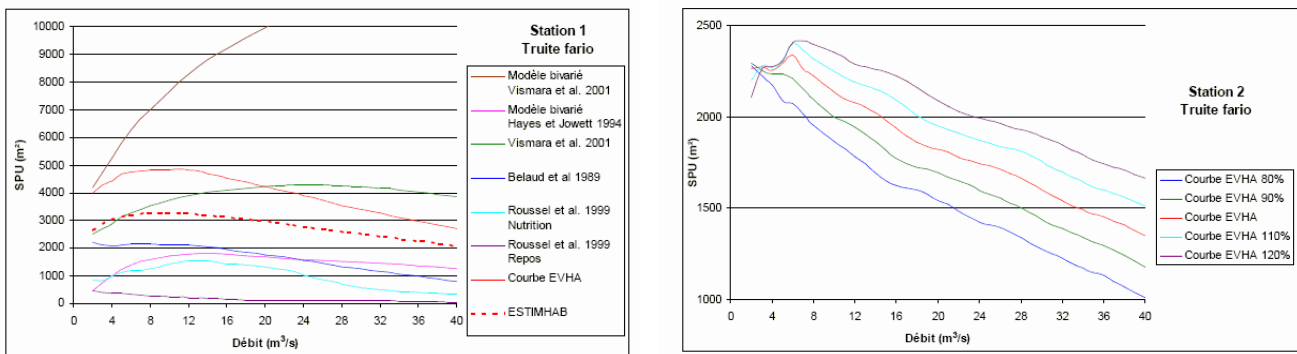
- un gain très significatif d'habitat pour les faibles valeurs, une plage avec un optimum et une baisse progressive,
- un gain quasiment régulier de surfaces d'habitat favorables avec le débit,
- une quasi stagnation des surfaces favorables quelque soit la valeur de débit.

Certaines espèces présentent pour le stade adulte des évolutions particulières avec une progression quasi constante de l'habitat disponible avec le débit. C'est le cas de l'ombre commun ou du barbeau.

3.3.5 Limites d'application

Les résultats des méthodes d'habitat sont sensibles aux choix et à la pertinence du modèle biologique, au calage du modèle hydraulique à la mise en œuvre des mesures de terrain, aux modifications de la morphologie. La méthode est de plus limitée vis-à-vis de certains stades de développement ou d'espèces.

3.3.5.1 Incidences des courbes de préférence



Evolution des surfaces d'habitats favorables à la truite commune en fonction du type de modèle biologique utilisé ou d'une variation d'une même courbe (Courret XXX).

De nombreuses études ont montré la forte sensibilité des réponses de l'habitat en fonction de la courbe de préférence choisie. Courret (XXX) a montré sur une même station, que l'évolution de l'habitat de la truite adulte pouvait être totalement différente selon la courbe de préférence choisie. De la même façon, une variation de ± 10 ou 20% autour de la préférence pouvait générer une réponse très variable de l'habitat estimé par la méthode des microhabitats.

Les modèles biologiques aujourd'hui disponibles sont très généralistes. Ils rassemblent des probabilités qu'un habitat soit utilisé par une espèce à un stade de développement donné pour une large gamme d'activité (repos, abris/refuge, nutrition). Ils sont basés sur des conditions hydrauliques moyennes de la colonne d'eau, conditions qui peuvent être bien représentatives pour de faible valeur de débit mais qui perdent très nettement de leur représentativité lorsque le débit et la rugosité augmente. Ainsi, sur un cours d'eau des Pyrénées à régime naturel, la valeur d'habitat pour les truites adultes passe de 24 % à 43% lorsqu'elle est calculée en utilisant les vitesses prises à 0,2, 0,4 et 0,8 de la colonne d'eau ou en utilisant la seulement vitesse à 5 cm du fond. La confrontation à l'abondance des poissons présents sur le site montre que la valeur d'habitat calculée en utilisant les vitesses au fond est beaucoup plus pertinente (Baran, 1994).

3.3.5.2 Calage du modèle hydraulique

3.3.5.3 Influence de la morphologie.

L'application de la méthode sur un tronçon de cours d'eau dont la morphologie est modifiée présente des biais importants vis-à-vis du choix d'une valeur de débit minimum. En effet, dans une situation d'hydrologie très modifiée, le lit mineur du cours d'eau c'est souvent ajusté aux nouvelles conditions avec notamment une réduction de la largeur mouillée. Ces morphologies imposent une nouvelle sensibilité au débit avec des valeurs optimales qui sont en rapport avec le nouveau module du cours d'eau. Cette situation est très fréquente pour les tronçons situés sous les grands barrages écrêtant fortement les crues.

3.3.5.4 Limites de la méthode pour certains stades de développement.

L'utilisation de la méthode des microhabitats basée sur une description des conditions hydrauliques et des substrats par transects n'est pas adaptée aux stades de développement qui utilisent des habitats très particuliers et très spatialisés. C'est le cas de la reproduction. L'approche directement par « patch » de graviers pour la truite commune est largement plus pertinente (Delacoste *et al.*, 1993, Delacoste, 1995 ; Delacoste *et al.*, 1999). De même, les habitats des 1ers stades larvaires ainsi que des jeunes alevins qui utilisent très majoritairement des zones de bordure (Copp XXX ; Semperki, 1995 ; Liebig, 1998) ne peuvent être quantifiés par une approche de transects.

Les relations aux conditions hydrauliques du cours d'eau et la capacité de les décrire peut être également très limitée pour des espèces de fond utilisant la rugosité des substrats et pour lesquelles, il est très difficile d'appréhender les véritables conditions de vie. C'est le cas du chabot ou de la loche franche.

De même, des espèces adaptées aux habitats lenticques comme le gardon, le rotengle ou la brème ne constitueront pas des cibles biologiques pertinentes pour la définition de valeur minimale de débit. Le comportement de recherche de nourriture de ces espèces n'est absolument pas dépendant des conditions hydrauliques à l'inverse des cyprinidés d'eaux vives comme le barbeau, le spirin, le blageon ou le hotu.

4 DEBITS MINIMUMS ET CONTINUITE ECOLOGIQUE.

De nombreuses espèces de poissons et plus particulièrement les migrateurs amphihalins ont des besoins impératifs en terme de libre circulation pour accéder aux habitats vitaux pour l'accomplissement de leur cycle biologique. Les dispositifs permettant le franchissement de ces espèces, que ce soit pour la dévalaison ou pour la montaison, nécessitent également des débits minimums afin de garantir leur efficacité. Dans le cas d'un barrage-usine sans tronçon court-circuité, il est donc tout de même nécessaire de définir un débit réservé pour l'alimentation des dispositifs de franchissement (montaison, dévalaison). Dans le cas d'une usine en dérivation, on peut être amené à construire soit une seule passe à l'usine ou au barrage, soit deux passes, en particulier lorsque la dérivation est longue et les déversements fréquents. Le choix de l'implantation de la ou des passes dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels le débit d'équipement de la centrale, sa configuration (hauteur de chute à l'usine, longueur du tronçon court-circuité, ...), ainsi que les conditions hydrologiques en période de migration. Dans le cas où il est difficile d'aménager une passe à poissons à la centrale (présence d'une conduite forcée, chute importante), il conviendra de rendre le tronçon court-circuité attractif en y délivrant en permanence un débit suffisant. Le débit alimentant une passe implantée au barrage sera inclus dans le débit minimum délivré dans le tronçon court-circuité, celui alimentant une passe à l'usine s'y rajoutera. Les dispositifs de dévalaison étant généralement associés aux plans de grille disposés à l'amont des centrales, les débits les alimentant s'ajouteront au débit minimum délivré dans les tronçons court-circuités. On peut néanmoins envisager de traiter la dévalaison au niveau du départ du canal d'amenée, le débit étant alors inclus dans le débit minimum délivré dans le tronçon court-circuité. Les débits assurant une bonne efficacité des ouvrages de franchissement (montaison + dévalaison) peuvent être très variables suivant les enjeux migratoires et les caractéristiques de l'aménagement. Ils peuvent atteindre de 10% à plus de 20% du module avec une saisonnalité pour le débit attribué à la dévalaison. On rappelle qu'outre la libre circulation piscicole, la continuité écologique englobe également le transit des sédiments. Pour être effectivement transparent vis-à-vis du transport solide, un aménagement hydroélectrique devra être équipé d'ouvrages évacuateurs adaptés (possibilité d'effacer le barrage ou vannes de fond expressément dimensionnées, ...) et géré de manière adéquate en terme de nombre, de timing et de durée des opérations de transparence.

5 PRECONISATIONS.

De nombreux outils sont donc disponibles pour aider à définir des valeurs de débit minimum dans des tronçons de cours d'eau. Les enjeux de ces choix étant très importants tant du point de vue énergétique qu'écologique, il est nécessaire de conduire une véritable démarche construite et hiérarchisée s'appuyant sur le maximum d'informations disponibles.

La démarche de définition d'une valeur de débit minimale doit être construite en trois étapes indispensables.

1- La connaissance de la situation initiale de l'environnement et les caractéristiques du projet avec :

- la caractérisation des enjeux écologiques du tronçon, de la masse d'eau et du bassin concerné,
- les impacts potentiels de l'aménagement liés principalement à son emprise territoriale (longueur de tronçon court-circuité, hauteur du barrage rapporté à la pente du cours d'eau),

2- La détermination de l'hydrologie naturelle et plus particulièrement des conditions d'étiage,

3. La définition d'une valeur de débit minimum qui pourra s'appuyer sur les différentes méthodes disponibles et les seuils minimaux de la réglementation. Le choix des outils d'aide à la définition du débit se fera en fonction des résultats obtenus aux étapes 1 et 2.

ETAPE 1 : Caractériser :

- la situation écologique du tronçon de cours d'eau pour identifier les enjeux et surtout les espèces et les stades de développement réellement sensibles à la réduction des débits,
- l'emprise de l'installation qui définira le niveau d'impact potentiel (longueur du tronçon court-circuité, débit d'équipement, hauteur de l'ouvrage rapportée à la pente du cours d'eau...).

Le croisement des deux doit aboutir à formuler un niveau de risque associé à la réduction du débit minimum pour le fonctionnement du cours d'eau.

- Risque très fort : très important linéaire de rivière (>5 km) impacté et accueillant des espèces à très fortes exigences d'habitat et de continuité écologique (saumon atlantique, truite commune, ombre commun) et notamment des habitats clés pour leur cycle biologique (zone de reproduction),
- Risque fort :
 - o important linéaire de rivière (1-5 km) impacté et accueillant :
 - des espèces à très fortes exigences d'habitat et de continuité écologique (saumon atlantique, truite commune, ombre commun) et notamment des habitats clés pour leur cycle biologique (zone de reproduction),
 - des espèces à fortes exigences d'habitat (cyprinidés d'eaux vives (barbeaux commun et méridonnial, hotu, blageon, spirin, vandoise, toxostome) ; chabot) ;
 - o linéaire de rivière <1 km constituant :
 - un habitat clé du cycle de développement (zone de reproduction) d'espèces à fort enjeu comme le saumon atlantique ou la lamproie marine,
 - une voie de passage pour les migrateurs amphihalins leur permettant d'accéder à leurs habitats vitaux de reproduction et de croissance des juvéniles.
- Risque modéré : linéaire impacté <1 km et accueillant des espèces à fortes et très fortes exigences écologiques (truite commune, ombre commun, cyprinidés d'eaux vives (barbeaux commun et méridonnial, hotu, blageon, spirin, vandoise, toxostome), chabot),
- Risque faible : linéaire impacté très faible ou nul (<0,5 km) n'accueillant pas d'espèces à très fortes exigences écologiques (saumon atlantique, truite commune, ombre commun) et se ne trouvant pas sur un axe de migration des espèces amphihalines).

A chaque niveau de risque identifié et selon l'impact hydrologique de l'usage envisagé (voir Etape 2) correspondra une démarche de fixation de la valeur de débit minimum.

ETAPE 2 : Connaissance de l'hydrologie naturelle et surtout des conditions d'étiage.

Cette étape doit s'appuyer sur l'analyse d'une chronique hydrologique relativement longue (>10 ans) soit directement sur le tronçon de rivière concerné soit dans une zone géographique la plus similaire possible. Cette chronique doit fournir des débits validés pour les situations d'étiages. L'analyse portera :

- les valeurs moyennes annuelles caractérisant les étiages (VNC10, QMNA) et les valeurs des débits classés (Q90, Q95),
- la variabilité des caractéristiques moyennes en établissant le niveau de variations (intervalle de confiance à 95%) des valeurs moyennes d'étiage sur l'ensemble de la chronique.

Selon le résultat de cette analyse et la définition du niveau de risque obtenu à l'étape 1, plusieurs configurations peuvent se présenter aboutissant à différentes démarches plus ou moins complexes pour fixer la valeur de débit minimum.

ETAPE 3 : Aide la définition du débit minimum.

3.1. Croisement des résultats des étapes 1 et 2.

En croisant les résultats des étapes 1 et 2, il est possible de définir rapidement soit des valeurs de débits minimums, soit une démarche complémentaire à conduire pour fixer ces valeurs.

	Risque très fort	Risque fort	Risque modéré	Risque faible
Etiage naturel** toujours <10% du module	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation
Etiage naturel proche de 10% du module	Qr = 10% du module Soit Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique nécessaire*	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation
Etiage naturel compris entre 10-15% du module	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique et habitat nécessaires*	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique nécessaire*	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation
Etiage naturel compris entre 15%-20% du module	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique et habitat nécessaires*	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < VNC10 de retour 2 ans alors Etude hydraulique et habitat nécessaires*	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique nécessaire*	Fixation du Qr sur les bases de la réglementation
Etiage naturel > 20% du module	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique et habitat nécessaires*	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique et habitat nécessaires*	Si Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique nécessaire*	Qr = VCN10 de retour 2 ans Si Qr envisagé < 1 ^{er} quartile des VNC10 annuels alors Etude hydraulique nécessaire*

** Etiage naturel : valeurs moyennes annuelles du VNC10 et du QMNA.

* Les études hydrauliques et habitats seront à conduire pour aider à la fixation d'un débit réservé si la valeur de débit minimum envisagée au départ est très inférieure à la gamme de variation naturelle des étiages (<1^{er} quartile des VCN10 annuels ou < aux valeurs de retour quinquennal). L'utilisation de méthodes d'habitat dépendra du résultat de la méthode hydraulique.

3.2. Application des méthodes hydrauliques.

Les méthodes hydrauliques seront appliquées lorsque le débit minimum envisagé dans le projet est inférieur aux étiages naturels et les risques forts à très forts. L'objectif est de déterminer la sensibilité du cours d'eau en terme de pertes de surfaces mouillées à la valeur de débit minimum. L'application sera mise en œuvre dans les habitats jugés les plus sensibles à la réduction de surface en eau (radiers)

Deux réponses sont possibles :

- la valeur de débit minimum envisagée dans le projet est supérieure ou proche de la valeur à partir de laquelle les réductions de surfaces mouillées sont très significatives. Cette valeur initiale pourra donc être retenue, le risque paraissant faible. Il sera toutefois nécessaire dans cette approche d'ajouter les besoins en matière de continuité écologique et de franchissement qui peuvent être significatif dans le cas d'axes de migration des espèces amphihalines.
- La valeur de débit minimum se situe dans la zone de fortes pertes de surfaces mouillées. Il est alors possible :
 - o De fixer comme valeur de débit minimum celle correspondant au point de basculement de la relation surface mouillée et débit,
 - o D'appliquer une approche basée sur les habitats afin de qualifier le risque réel en matière d'habitat engendré par un débit minimum qui serait à la fois très inférieur aux conditions d'étiage naturel et très pénalisant en matière de surface en eau disponible.

3.3. Application des méthodes d'habitat.

L'application de ces méthodes pour les contextes identifiés par les étapes précédentes doit reposer sur un certain nombre d'analyses préalables.

- identification de ou des espèces cibles du tronçon et des stades de développement les plus sensibles aux conditions hydrauliques. En présence de saumon atlantique, l'habitat de reproduction sera particulièrement étudié. Pour la truite commune et l'ombre commun, ce sont les habitats d'adultes et la reproduction qui seront analysés en priorité,
- choix des modèles d'habitat adaptés aux espèces et stades de développement du tronçon. Pour la reproduction des grands salmonidés il faudra tenir compte de la taille moyenne des poissons, de même que pour les adultes de truites où la taille à 3 ans constituera un bon critère de choix de la courbe de préférence à utiliser. Les courbes actuellement disponibles dans les logiciels EVHA et ESTIMHAB ne s'appliquent pas pour des adultes de truites dont la taille à 3 ans est supérieure à 23 cm (cas des cours d'eau du Jura, du piémont des Alpes et des Pyrénées...),
- choix des sites d'étude et des outils employés en tenant compte :
 - o de la spatialisation de certains habitats clés (zones de reproduction) qui seront abordés à l'échelle de chaque zone et non par transects,
 - o des modifications morphologiques du tronçon qui peuvent largement influencer la réponse de l'habitat (tronçon déjà soumis à une réduction de débit, chenalisation...). Dans ce cas, l'ajout d'une station non perturbée est nécessaire.

L'application des méthodes d'habitat devra permettre d'évaluer les pertes en matière de zones favorables pour les valeurs débit envisagées au départ du projet.

3.4. Eléments complémentaires intervenant dans le choix du débit minimum

- La continuité écologique

Les débits minimums nécessaires à la continuité écologique doivent être appréhendés de manière séparée des habitats. Il faut considérer successivement :

- l'attractivité du tronçon court-circuité par rapport à la restitution de l'usine dans le cas d'une installation hydroélectrique,
- l'attractivité du dispositif de montaison au droit du barrage,
- les débits nécessaires aux dispositifs de dévalaison.

Ces débits minimums peuvent être affectés aux périodes clés de la migration des poissons.

- La qualité des eaux et la température

La valeur de débit minimum peut être modifiée en se basant sur des critères de qualité des eaux et de dilution de rejets. Elle peut être également calculée pour limiter le réchauffement des eaux dans le tronçon court-circuité.

- Cas des tronçons soumis à des éclusées

Dans le cas où le tronçon court-circuité subit des variations brutales de débit du fait d'une gestion par éclusées pratiquée en amont, le débit de base devra être fixé de façon à en atténuer les impacts de ces variations (problématique d'exondation de frayères, d'échouage-piégeage d'alevins, de la connexion/déconnexion de bras annexes, ...).

Bibliographie

Beecher, H. A. 1990. Standards for instream flows. *Rivers* 1, 97–109.

Instream Flow Council, Instream Flows for Riverine Resource Stewardship. 2002

Jowett, I.G., Instream Flow Methods: A Comparison of Approaches. Regulated Rivers: Research & Management, Volume 13: 115-127. 1997

Kellerhals, R. and Church, M. 1989. The morphology of large rivers: characterization and management. In Dodge D. P. (Ed.), *Proceedings of the International Large River Symposium*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106, 31–48.

Mosley, M. P. 1982. The effect of changing discharge on channel morphology and instream uses in a braided river, Ohau River, New Zealand. *Wat. Resour. Res.*, 18, 800–812.

O'Shea, D. T. 1995. Estimating minimum instream flow requirements for Minnesota streams from hydrologic data and watershed characteristics. *North Am. J. Fish. Manage.*, 15, 569–578.

Park, C. C. 1977. World-wide variations in hydraulic geometry exponents of stream channels: an analysis and some observations. *J. Hydrol.*, 33, 133–146.

Tharme R.E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Res. and Applic.* 10, 397-441.

White, R. G. 1976. A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers. In Orsborn, J. F. and Allman, C.H. (Eds), *Proceedings of the Symposium and Speciality Conference on Instream Flow Needs II*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 376–386.