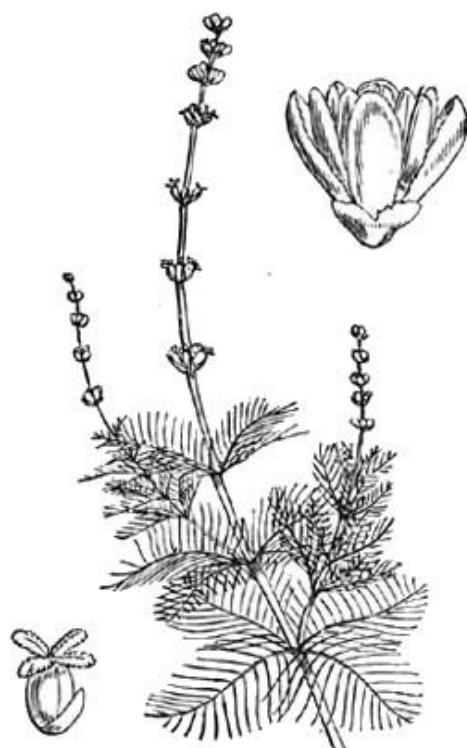


Rodrigue ARCHAMBEAU et Arnaud ELGER

# Cartographie et mesure de biomasse des herbiers de macrophytes aquatiques à l'amont du CNPE de Golfech – Année 2013



395. *Myriophyllum spicatum* L.

Dessin au trait de Walter Hood Fitch,  
Illustrations of British Flora, 1924,  
London

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	2
<b>1.1. Contexte de l'étude .....</b>	2
<b>1.2. Objectifs de l'étude .....</b>	2
<b>2. Matériels et Méthodes.....</b>	3
<b>2.1. Description du secteur.....</b>	3
2.1.1. Présentation générale du secteur étudié .....	3
2.1.2. Localisation des stations au sein du secteur étudié.....	4
<b>2.2. Description des stations.....</b>	4
2.2.1. Bourret.....	4
2.2.2. Saint-Aignan .....	5
2.2.3. Monestié.....	6
2.2.4. Malause.....	7
2.2.5. Sainte Livrade .....	9
<b>2.3. Protocole d'échantillonnage.....</b>	10
2.3.1. Transects .....	10
2.3.2. Placettes .....	11
<b>2.4. Exploitation des données.....</b>	12
2.4.1. Analyse statistique et représentation graphique des résultats .....	12
2.4.2. Spatialisation des données .....	13
2.4.3. Calcul de la biomasse totale des herbiers.....	13
2.4.4. Biomasse sur l'ensemble du linéaire étudié .....	14
<b>3. Résultats et discussion.....</b>	15
<b>3.1. Espèces échantillonnées.....</b>	15
<b>3.2. Biomasse des herbiers .....</b>	16
3.2.1. A l'échelle de la placette.....	16
3.2.2. Estimations à l'échelle de la station.....	17
3.2.3. Extrapolation à l'échelle du linéaire global .....	19
<b>3.3. Mise en relation des variations de biomasse avec l'hydrologie .....</b>	20
<b>4. Annexes .....</b>	22

# 1. Introduction

## 1.1. Contexte de l'étude

Les macrophytes aquatiques représentent une composante importante des biocénoses aquatiques continentales. Ces végétaux jouent un rôle souvent positif dans le fonctionnement des écosystèmes et pour la biodiversité de nombreux groupes biologiques. Toutefois, ils influencent également les activités anthropiques et leur prolifération sous l'effet de l'eutrophisation et/ou de la régulation des débits peut compromettre certains usages de la ressource en eau.

A ce titre, les incidences possibles de la végétation aquatique sur l'obstruction des prises d'eau pour le refroidissement des Centres Nucléaires de Production Electrique (CNPE) sont considérées avec attention par EDF-DTG. Une surveillance environnementale en amont des CNPE a donc été mise en place sur plusieurs cours d'eau français, de manière à avoir des informations qualitatives (identité des espèces présentes) et quantitatives (recouvrement et biomasse) sur les herbiers de macrophytes présents.

## 1.2. Objectifs de l'étude

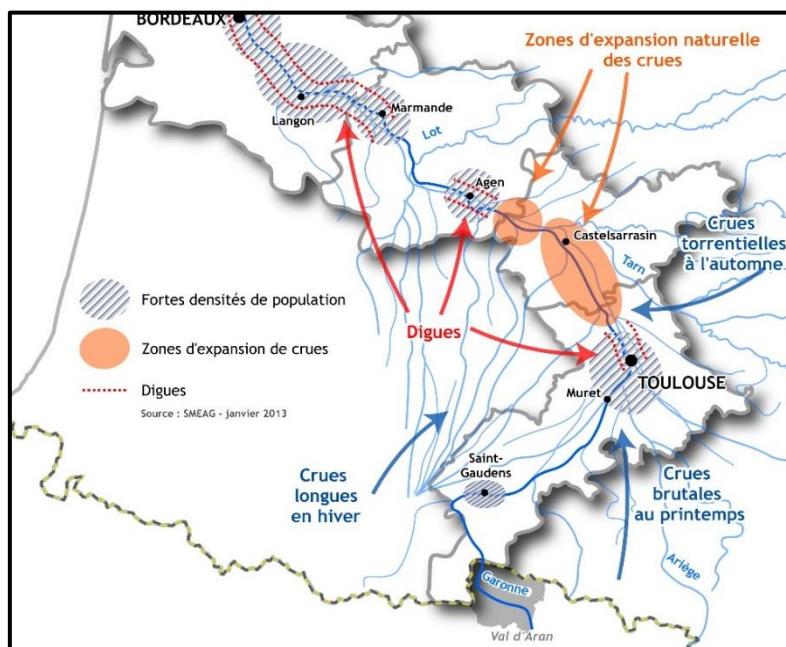
La présente étude, mandatée par EDF DTG, a pour objectif de mesurer le recouvrement et la biomasse des espèces de macrophytes présentes en septembre 2013 au niveau de 5 stations situées à l'amont du CNPE de Golfech (4 stations sur la Garonne et 1 sur le Tarn). Il s'agit des stations déjà échantillonnées en juillet et septembre 2012. A ce titre, la présente étude se situe donc dans le cadre d'un suivi pluriannuel. Par la comparaison des données collectées deux années consécutives, cette étude nous permettra d'appréhender la variabilité temporelle de la composition et de la densité des herbiers de macrophytes sur les stations étudiées, et de relier les variations éventuelles aux conditions hydrologiques mesurées sur les cours d'eau concernés.

## 2. Matériels et Méthodes

### 2.1. Description du secteur

#### 2.1.1. Présentation générale du secteur étudié

La zone d'étude se trouve à proximité de la confluence entre la Garonne et le Tarn, dans le secteur de Castelsarrasin (département du Tarn-et-Garonne), au niveau d'une zone d'expansion naturelle des crues (Fig. 1). Elle se situe donc dans la Plaine formée par le réseau hydrographique de la Garonne, à l'interface entre les piémonts du Massif central et des Pyrénées. D'un point de vue géologique, le secteur se caractérise par des dépôts alluviaux du Quaternaire reposant sur un substratum molassique du Miocène. Ces terrains présentent un faciès argilo-calcaire entrecoupé de lentilles sableuses.



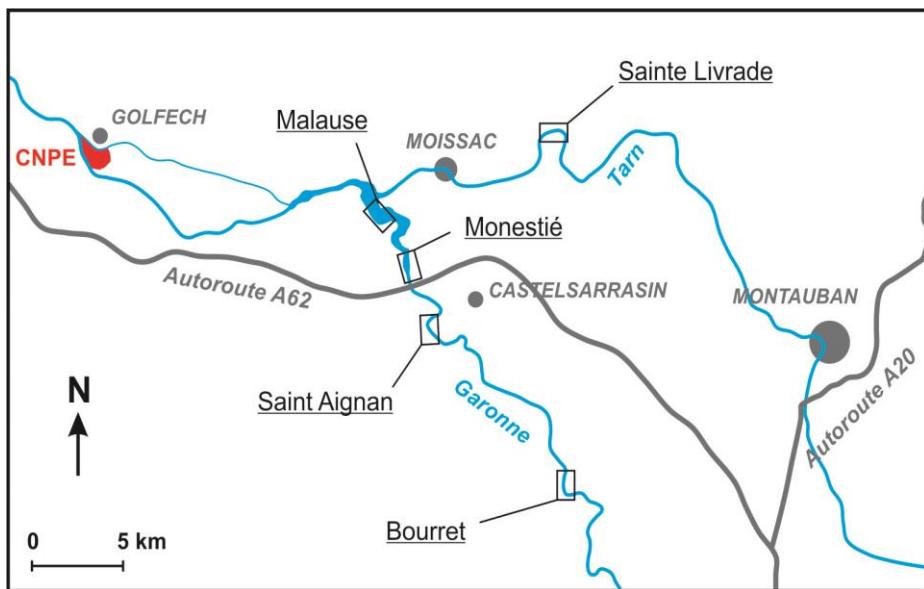
**Figure 1.** Carte représentant les caractéristiques des crues sur la Garonne et ses affluents, ainsi que la possibilité d'expansion des crues au niveau de la plaine alluviale.

(Source : Syndicat Mixte d'Etude et d'Aménagement de la Garonne).

D'un point de vue climatique, le secteur se caractérise par un climat de type océanique dégradé. Les hivers sont généralement doux et pluvieux ; au printemps, de fortes giboulées sont fréquentes et abondantes ; les étés sont chauds et relativement secs. L'influence climatique des régions avoisinantes (notamment des Pyrénées et du Massif Central) se répercute sur l'hydrologie en fonction de l'origine des affluents. Ainsi, au niveau du secteur étudié, la Garonne peut subir de longues crues hivernales ainsi que des épisodes de crue brutale au printemps. Au contraire, le Tarn sera davantage soumis à de fortes crues automnales, tout en étant relativement épargné par les crues printanières (Fig. 1).

### 2.1.2. Localisation des stations au sein du secteur étudié

La localisation des stations étudiées est indiquée sur la Fig. 2. Les quatre stations sur la Garonne (Bourret, Saint-Aignan, Monestié et Malause) se situent sur un linéaire d'une trentaine de kilomètres en amont de la confluence avec le Tarn. L'unique station suivie sur le Tarn (Sainte Livrade) se situe à environ 12 km de la confluence.



**Figure 2.** Carte localisant les 5 stations étudiées sur la Garonne (Bourret, Saint-Aignan, Monestié et Malause) et sur le Tarn (Sainte Livrade).

## 2.2. Description des stations

### 2.2.1. Bourret (82700, N 43° 47' / E 01° 10')

Il s'agit de la station la plus en amont de la centrale de Golfech (à environ 40 km du CNPE) sur la Garonne. Sa longueur est d'environ 840 m, et sa largeur moyenne 104 m.

Au niveau du cours actif, on observe une alternance entre des fasciés lenticques, plats courants et radiers. Le substrat est principalement constitué de galets et de graviers et l'abondance des macrophytes y est faible (recouvrement total dépassant rarement 5 %). L'eau est assez limpide, permettant d'observer sans problème le fond jusqu'à 1,5 m de profondeur, voire davantage, dans la plupart des zones.

Le chenal actif est connecté à 2 bras secondaires. Ceux-ci, moins exposés aux contraintes hydrauliques que le chenal principal, servent de refuge pour les macrophytes aquatiques.

Au Sud de la station, le premier bras secondaire est en fin de comblement, et se trouve connecté au chenal principal uniquement par son extrémité aval. Il est caractérisé par

un substrat limoneux riche en matière organique. On y trouve des herbiers dominés par *Ludwigia grandiflora* et *Najas marina*.

Plus en aval, le second bras (Fig. 3) présente une biomasse macrophytique plus importante que dans le cours actif de la rivière, bien qu'il soit connecté à celui-ci par ses deux extrémités et soit probablement parcouru par un courant important en période de crue, si l'on en juge par sa morphologie et sa granulométrie grossière. Les quelques herbiers présents sont dominés par *Myriophyllum spicatum* et *Potamogeton pectinatus*.



**Figure 3.** Connexion amont du bras secondaire aval sur la station de Bourret, sur la Garonne (photo : R. Archambeau).

### 2.2.2. Saint-Aignan (82100, N 44° 01' / E 01° 04')

La station de Saint-Aignan se trouve à environ 20 km du CNPE de Golfech. Sa longueur est d'environ 1050 m et sa largeur moyenne 116 m.

Cette station présente 2 zones distinctes. En Amont, le fasciés dominant est un plat courant, avec un substrat de type galet/gravier. Puis, plus en aval, les zones de radiers dominent et le substrat est constitué par une alternance de dalles et de galets (Fig. 4). L'eau est assez limpide.

Nous avons noté une forte présence d'algues filamenteuses sur le site, alors que l'abondance des macrophytes est restée faible. Hormis à l'amont de la station, où quelques herbiers localisés étaient encore observables (Fig. 5), le recouvrement total des macrophytes était toujours inférieur à 5%.



**Figure 4.** Zone de radiers sur la station de Saint-Aignan, sur la Garonne.



**Figure 5.** Herbiers de *Vallisneria spiralis* (à gauche) et d'*Egeria densa* (à droite) sur la station de Saint-Aignan (sur la Garonne), à l'amont du pont (photos : R. Archambeau).

### 2.2.3. Monestié (commune de Castelsarrasin, 82100, N 44° 03' / E 01° 03')

Ce tronçon de la Garonne est situé à 18 km de la Centrale de Golfech. Sa longueur est d'environ 740 m, et sa largeur moyenne 251 m.

Le courant est majoritairement lentique, voire stagnant, ce qui a permis l'établissement d'un îlot sédimentaire (à proximité de la rive gauche). Le substrat est majoritairement constitué de galets et de graviers. Au niveau des quelques zones stagnantes (entre la rive gauche et l'îlot), le substrat est constitué de vase. Cette station se caractérise globalement par une turbidité moyenne.



**Figure 6.** Zone lenticulaire sur la station de Monestié, à proximité de l'îlot sédimentaire (Photo : R. Archambeau).

Le recouvrement total en macrophytes aquatiques sur le site est toujours inférieur à 5%, et principalement des plantes isolées (*Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton nodosus*...) ont été observées. Quelques patches de *Vallisneria spiralis* ont été notés à proximité immédiate de la rive.

#### 2.2.4. Malause (82200, N 44° 04' / E 01° 02')

A la confluence du Tarn et de la Garonne, cette station offre un grand espace d'eau calme propice à l'établissement de vastes herbiers de macrophytes, comme nous avions pu l'observer en 2012. Ce tronçon est le plus en aval et le plus proche de la Centrale de Golfech (15 km). Sa longueur est d'environ 2070 m, et sa largeur moyenne 639 m.

Une partie du site est classée comme zone protégée pour la nidification de l'avifaune (Fig. 7) et n'a pas pu être prospectée. EDF-DTG n'ayant pas l'information de la présence de cette zone protégée avant l'intervention sur site, l'autorisation de pénétrer dans la zone n'a pu être demandée au préalable. Afin de s'affranchir de l'obtention d'une telle autorisation, il est proposé pour les prochaines campagnes de décaler la station en dehors de la zone protégée. Par ailleurs, la quasi-totalité des herbiers observés en 2012 sur le reste de la station a disparu. Pour ces différentes raisons, la campagne de prospection 2013 s'est déroulée sur la rive Est de la Garonne, au niveau d'un linéaire d'environ 540 m.

Dans cette zone le courant est quasiment nul. Le substrat dominant est constitué par de la vase. La turbidité de l'eau est assez importante. En termes de diversité végétale, nous restons sur les mêmes espèces que celles présentes en amont. La biomasse des herbiers est faible : si leur recouvrement atteint par endroit 40%, les herbiers restent cantonnés à une bande étroite le long de la rive.

La dernière crue a laissé un embâcle flottant, formé de troncs d'arbre et débris ligneux de différentes tailles, colonisé par de la jussie (*Ludwigia grandiflora*). Cet herbier en formation n'a fait l'objet d'aucun relevé, les conditions de sécurité n'étant pas satisfaisantes pour la prospection de cette zone (bois instable, profondeur de l'eau supérieure à 2 m).



**Figure 7.** Panneau faisant état des restrictions d'accès à certaines zones sur la retenue de Malause, afin d'assurer la quiétude de l'avifaune (photo : A. Elger).

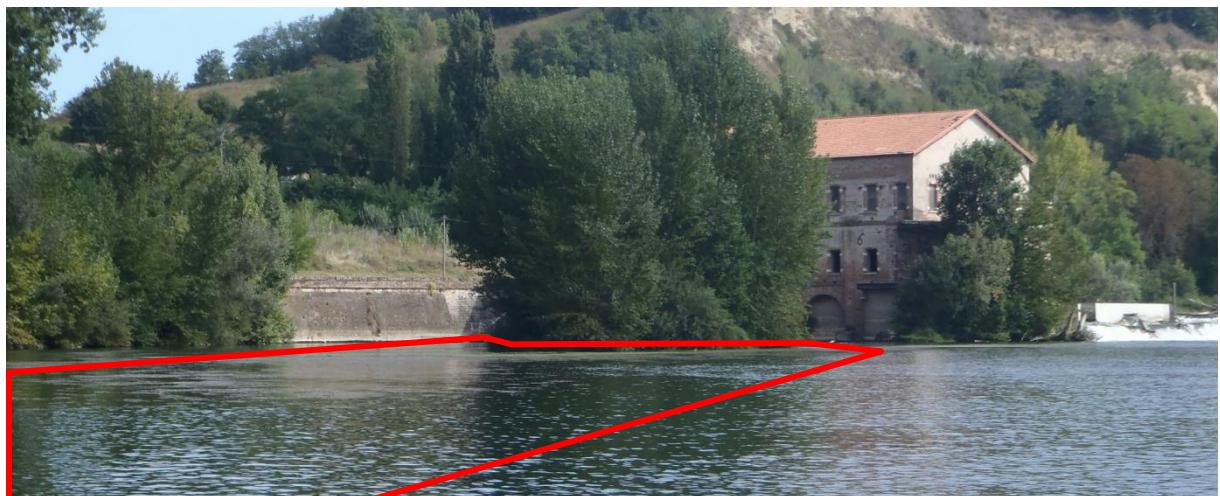


**Figure 8.** Embâcle sur la station de Malause, sur la Garonne (juste avant la confluence avec le Tarn), colonisé par la Jussie, *Ludwigia grandiflora* (photo : R. Archambeau).

## 2.2.5. Sainte Livrade (commune de Moissac, 82200, N 44° 06' / E 01° 09')

La station de Sainte Livrade se localise à l'aval d'une retenue sur le Tarn, et se trouve à 25 km du CNPE de Golfech. Sa longueur est d'environ 595 m, et sa largeur moyenne 159 m.

Une petite île fortement végétalisée (i.e. colonisée par des arbres) est localisée juste à l'aval du barrage à proximité de la rive droite (Fig. 9).



**Figure 9.** Station de Sainte Livrade, sur le Tarn. Le contour de la zone d'herbiers denses à l'aval de l'île est matérialisé en rouge (photo : R. Archambeau).



**Figure 10.** Herbier plurispécifique sur la station de Sainte Livrade, constitué de *Vallisneria spiralis*, *Myriophyllum spicatum* et *Najas marina*. A cette période de l'année, les macrophytes sont abondamment colonisées par le périphyton (photo : R. Archambeau).

L'eau est assez limpide et le courant lent (voire nul au niveau de l'herbier). Le substrat est assez hétérogène sur le site avec des zones de galets/graviers, de sable, ou couvertes de bois morts immergés de tailles diverses (à l'amont de l'île).

Contrairement aux tronçons suivis sur la Garonne, le recouvrement macrophytique total dépasse souvent les 40% au niveau des transects. Les herbiers observés sont plurispécifiques (fig. 10), situés majoritairement dans le prolongement aval de l'île.

## 2.3. Protocole d'échantillonnage

La végétation aquatique a été échantillonnée sur chaque station suivant un cahier des charges établi par EDF DTG. Le protocole d'échantillonnage de 2012 a été légèrement modifié afin qu'il soit applicable par les acteurs impliqués dans les différentes études mandatées par EDF-DTG sur le territoire français.

Initialement, la présente étude prévoyait deux campagnes en 2013, l'une au printemps (début juin) et l'autre en été (fin août - début septembre). En raison de conditions hydrologiques défavorables jusque fin juillet, seule la campagne estivale a pu être réalisée.

Sur chaque station, les herbiers de macrophytes ont fait l'objet de mesures de recouvrement au niveau de transects, et de mesures de biomasse au niveau de placettes.

### 2.3.1. Transects

Selon les stations, le recouvrement des macrophytes aquatiques a été déterminé le long de 10 à 20 transects (nombre fonction de la longueur et de l'hétérogénéité de la station). Les transects ont été placés perpendiculairement au cours d'eau, et s'étendent de la rive jusqu'à la fin de la zone colonisée par les herbiers. Lorsque ceux-ci se développent sur toute la largeur du cours d'eau, les transects ont été interrompus au milieu du cours d'eau. Dans certains cas particuliers (e.g. largeur du cours d'eau très importante, herbier se développant en position médiane) les transects ont été établis sans aucune connexion avec les rives du cours d'eau. Dans tous les cas, la largeur du transect a été fixée à 2m.

En fonction de l'hétérogénéité spatiale des herbiers, chaque transect a été divisé sur sa longueur en 2 à 6 sous-échantillons, au niveau desquels le recouvrement des espèces présentes a été évalué visuellement (avec l'aide d'un bathyscope) lorsque la transparence de l'eau et la profondeur le permettaient, ou à l'aide d'un râteau télescopique de 420 cm de longueur max. dans le cas contraire (et dans ce cas, 5 à 10 prélèvements ont été effectués au niveau de chaque sous-échantillon de manière à obtenir une vision correcte du

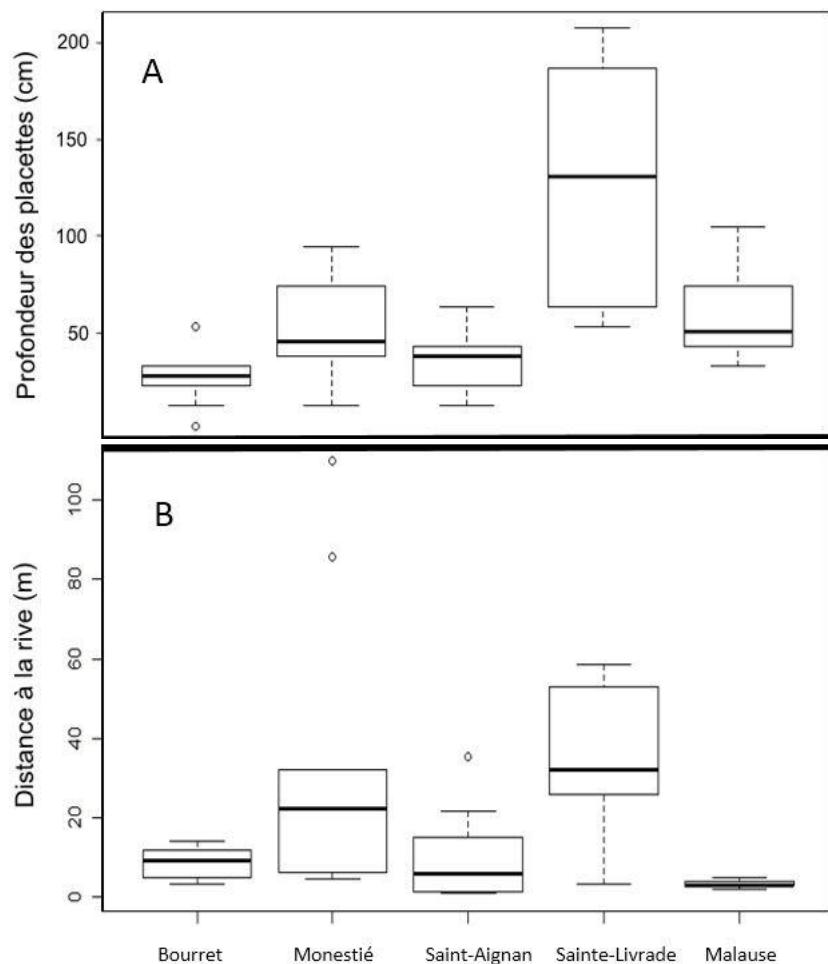
recouvrement relatif des différentes espèces présentes). Le recouvrement des différentes espèces contactées a été noté au niveau de chaque sous-échantillon.

Les transects et les sous-échantillons ont été géo-référencés. Au niveau de chaque transect, ont été notés le(s) substrat(s) dominant(s), la profondeur maximale, la vitesse du courant et la transparence de l'eau.

Dans la majorité des cas, les transects choisis lors de la présente étude coïncident avec ceux échantillonnés en 2012.

### 2.3.2. Placettes

Afin d'évaluer la biomasse des herbiers, 10 placettes de 1 m<sup>2</sup> ont été échantillonnées sur chacune des 5 stations. Ces placettes ont été positionnées de façon variée afin d'avoir un échantillonnage le plus représentatif possible, donc à différentes distances de la rive et à différentes profondeurs (Fig. 11). Chaque placette a été géoréférencée.



**Figure 11.** Profondeur (A) et distance par rapport à la rive (B) des placettes ayant fait l'objet de mesures de biomasse sur les 5 stations étudiées.

Les placettes ont été matérialisées de façon précise à l'aide d'un quadrat en PVC (flottant ou lesté, en fonction de la profondeur et de la vitesse du courant) (Fig. 12). Les espèces de macrophytes présentes dans toute cette superficie (ainsi que dans la colonne d'eau à l'aplomb du quadrat) ont été coupées au raz du sédiment à l'aide de ciseaux et prélevées. Les différentes espèces ont ensuite été triées, essorées puis pesées individuellement à l'aide d'une balance (résolution : 1 g).



**Figure 12.** Quadrat en PVC utilisé pour délimiter une zone de 1 m<sup>2</sup>, ici dans une zone d'eau courante peu profonde (photo : R. Archambeau).

## 2.4. Exploitation des données

### 2.4.1. Analyse statistique et représentation graphique des résultats

Dans un premier temps des valeurs moyennes au niveau des différents transects sont calculées pour le recouvrement total et le recouvrement de chaque espèce. Pour cela, les recouvrements mesurés au niveau des différents sous-échantillons sont pondérés par la longueur de ceux-ci.

Les valeurs de biomasse mesurées au niveau des placettes ont permis de calculer une biomasse moyenne par m<sup>2</sup> assortie de son écart type. Les valeurs de biomasse mesurées ont en outre fait l'objet d'une comparaison entre les stations au moyen d'une

ANOVA à un facteur. Les différences entre stations ont ensuite été mises en évidence par un test post-hoc HSD de Tukey.

#### 2.4.2. Spatialisation des données

La campagne de photographie aérienne, qui devait être réalisée par un prestataire distinct, n'a pu avoir lieu en raison de conditions météorologiques défavorables pendant la période des relevés de terrain.

Nous n'avons donc pas pu utiliser de données géoréférencées sur le contour des zones d'herbier, ce qui nous a empêchés de déterminer les surfaces colonisées par la végétation en septembre 2013.

En revanche, nous avons utilisé les photographies aériennes géoréférencées réalisées en 2012 comme fond topographique (en occultant les détails concernant les herbiers présents à ce moment-là) pour le positionnement et le rendu cartographique des placettes et transects réalisés sur chaque station lors de la présente étude (Annexe 1).

#### 2.4.3. Calcul de la biomasse totale des herbiers

La « Méthode 1 » proposée par EDF DTG consiste à déterminer la biomasse totale des herbiers en connaissant leur surface et en utilisant la biomasse moyenne mesurée au niveau des placettes sur cette station. Cette méthode correspond le mieux aux données collectées en 2013. Par défaut, nous avons conservé la même surface d'herbiers que celle mesurée à partir des photographies aériennes en 2012.

Lors de cette extrapolation à l'échelle de la station, les valeurs de biomasse calculées sont probablement surestimées, étant donné que la biomasse moyenne calculée à partir des placettes est sensée être représentative des zones d'herbiers, mais que la surface totale des herbiers est selon toute vraisemblance réduite par rapport à 2012 (au moins pour les 4 stations de la Garonne).

Il est à noter que la « méthode 1bis », consistant à distinguer au préalable des herbiers de différente nature n'a, cette année encore, pas été applicable sur la Garonne et le Tarn en amont de Golfech, les herbiers monospécifiques étant quasiment absents. Nous avons au contraire observé sur ce secteur, de manière quasi systématique, des herbiers pluri-spécifiques où 2 à 4 espèces sont parfois co-dominantes.

Contrairement à l'an dernier, il n'a pas non plus été possible d'intégrer la variabilité spatiale en termes de densité des herbiers, faute de photographies aériennes actualisées.

La « Méthode 2 », adaptée pour tenir compte de la nature des données à notre disposition, a par contre pu être utilisée dans chaque cas pour calculer, à partir de la biomasse totale sur la station, la biomasse spécifique des différents taxons de macrophytes observés. Pour cela nous avons utilisé l'abondance relative des différentes espèces (déterminée soit à partir de leur recouvrement sur les transects, soit à partir de leur biomasse sur les placettes) pour en déduire leur contribution en termes de biomasse à l'échelle de la station.

#### 2.4.4. Biomasse sur l'ensemble du linéaire étudié

Les biomasses d'herbiers sur l'ensemble du linéaire étudié ont été estimées en utilisant les méthodes décrites ci-dessus, et en prenant comme biomasse moyenne et comme abondance relative des différentes espèces de macrophytes, les moyennes calculées sur les cinq stations étudiées (nous n'avons pas utilisé dans ce calcul de pondération en fonction de la surface de la station, qui varie entre 11 et 68 ha, car les stations les plus étendues ne sont pas nécessairement les plus représentatives à l'échelle du linéaire étudié).

Tout comme à l'échelle de station, l'absence de photographie aérienne actualisée nous a conduits à utiliser pour nos calculs les surfaces d'herbiers mesurées en 2012, tout en ayant conscience que cette procédure implique une surestimation des biomasses présentes.

### 3. Résultats et discussion

L'ensemble des données collectées sur le terrain en septembre 2013 figure dans un fichier Excel joints au présent rapport (Annexe 3). De même, le détail des calculs de biomasses lors de la campagne (station par station, et pour l'ensemble du linéaire étudié) est consigné dans deux fichiers Excel également joints (Annexes 4 et 5).

#### 3.1. Espèces échantillonnées

Au total, 12 espèces d'Angiospermes aquatiques sont observées (Tableau I). Parmi celles-ci, seules trois sont présentes sur toutes les stations (*Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton nodosus*, *Vallisneria spiralis*), et une seule espèce (*Myriophyllum spicatum*) est présente dans plus de 50 % des transects échantillonnés. On peut également noter que, comme en 2012, aucune Charophyte n'a été observée lors des relevés.

En comparant ces données avec celles de 2012, on note donc une diminution de 3 espèces d'Angiospermes aquatiques rencontrées (12 espèces en 2013 contre 15 espèces en 2012). Les Angiospermes non observées en 2013 sont *Azolla filiculoides*, *Najas minor* et *Potamogeton crispus*.

**Tableau I.** Fréquence d'occurrence des espèces échantillonnées en septembre 2013 au sein des 5 stations étudiées et au sein de l'ensemble des transects.

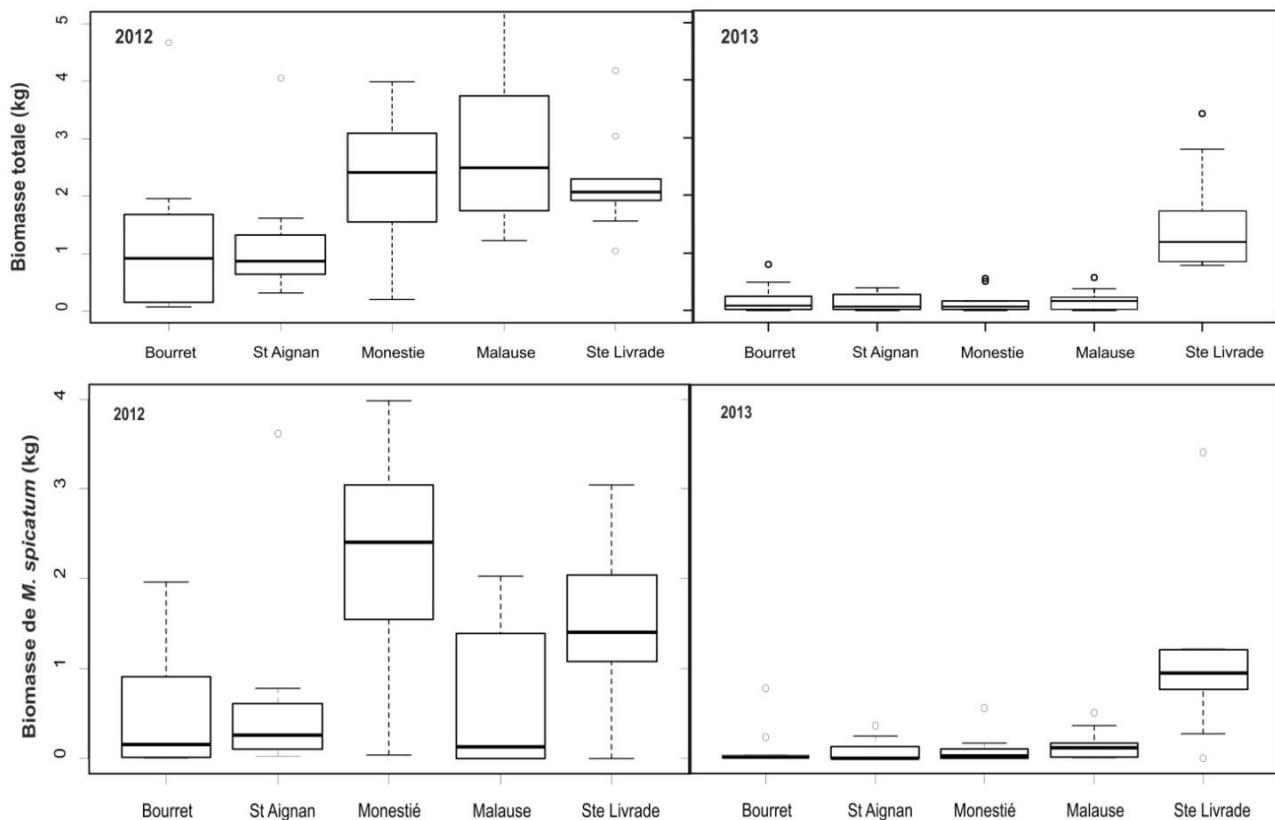
Espèces	% des stations où l'espèce est présente	% des transects où l'espèce est présente
<i>Myriophyllum spicatum</i>	100%	86%
<i>Ranunculus fluitans</i>	60%	18%
<i>Potamogeton nodosus</i>	100%	48%
<i>Elodea nuttallii</i>	20%	2%
<i>Vallisneria spiralis</i>	100%	42%
<i>Spirodela polyrhiza</i>	20%	9%
<i>Lemna minor</i>	20%	3%
<i>Ludwigia grandiflora</i>	60%	6%
<i>Egeria densa</i>	20%	3%
<i>Ceratophyllum demersum</i>	80%	29%
<i>Potamogeton pectinatus</i>	60%	17%
<i>Najas marina</i>	60%	11%

## 3.2. Biomasse des herbiers

### 3.2.1. A l'échelle de la placette

Les données complètes de biomasse des herbiers figurent en annexe, sous format électronique (Annexe 3).

La biomasse moyenne par  $m^2$  ( $\pm$  erreur standard) mesurée au niveau des herbiers en septembre 2013 varie entre  $0,139 \pm 0,049$  kg à Saint Aignan et  $1,522 \pm 0,283$  kg à Sainte Livrade (Fig. 13).



**Figure 13.** Biomasse totale (en haut) et biomasse de *Myriophyllum spicatum* (en bas) sur les 5 stations étudiées (médianes et espaces interquartiles), en septembre 2012 (à gauche) et septembre 2013 (à droite).

Les différences de biomasse entre stations en septembre 2013 apparaissent très significatives (ANOVA,  $P < 0,0001$ ). Toutefois, lorsqu'on ne considère que les stations de la Garonne, il n'y a pas de différence significative entre stations (ANOVA,  $P = 0.93$ ). En effet, seule Sainte Livrade présente des biomasses significativement différentes (plus élevées) de celles mesurées sur les autres stations (Test HSD de Tukey,  $P < 0,05$ ).

La valeur maximale de biomasse mesurée sur une placette en 2013 s'élève à 3,409 kg (placette n° 5 à Sainte Livrade, colonisée exclusivement par *Myriophyllum spicatum*).

La comparaison avec les résultats de 2012 confirme l'impression lors de la prospection terrain, à savoir l'effondrement des biomasses sur l'ensemble des stations de la Garonne. En revanche, les biomasses sont particulièrement stables sur Sainte Livrade (Tarn) entre 2012 et 2013 (Fig. 13).

### 3.2.2. Estimations à l'échelle de la station

Le calcul de la biomasse totale par station en septembre 2013 (Tableau II) conduit à des valeurs comprises entre 11 tonnes (Bourret) et 82 tonnes (Malause). La station de Sainte Livrade présente une biomasse intermédiaire entre les deux valeurs extrêmes mesurées sur la Garonne.

En termes de biomasse par unité de surface, Sainte Livrade se place en tête, ce qui s'explique par les relativement fortes valeurs de biomasse par  $\text{m}^2$  au niveau des herbiers, qui viennent compenser la faible surface relative des herbiers au sein de cette station (en 2013, Sainte Livrade était classée dernière en termes de biomasse totale, comme de biomasse par unité de surface).

**Tableau II.** Biomasses par station, exprimées en tonnes et en tonnes par hectare, en septembre 2013. Pour les stations de la Garonne, la valeur calculée est probablement surestimée (d'où le signe « < »), du fait de l'utilisation pour le calcul des surfaces d'herbiers de 2012. En revanche cette surestimation ne concerne pas le Tarn (station de Sainte Livrade), au niveau duquel la superficie des herbiers est restée relativement stable entre 2012 et 2013 (d'où le signe « ≈ »).

Biomasse estimée	
<b>Bourret</b>	< 11 t (< 1,07 t $\text{ha}^{-1}$ )
<b>Saint Aignan</b>	< 15 t (< 1,09 t $\text{ha}^{-1}$ )
<b>Monestié</b>	< 12 t (< 0,54 t $\text{ha}^{-1}$ )
<b>Malause</b>	< 82 t (< 1,21 t $\text{ha}^{-1}$ )
<b>Sainte Livrade</b>	≈ 28 t (≈ 2,64 t $\text{ha}^{-1}$ )

Le calcul d'une biomasse par espèce à l'échelle de la station implique de pondérer la biomasse totale par l'abondance relative des différentes espèces (« Méthode 2 adaptée », cf. § 2.4.3). Cela peut se faire en utilisant les recouvrements mesurés sur les transects et/ou les biomasses mesurées au niveau des placettes (Tableau III). Les résultats diffèrent assez peu dans l'ensemble, au moins pour les espèces les plus abondantes (abondance relative > 10%) : ces deux mesures, réalisées de manière indépendante, affichent en effet un coefficient de corrélation  $r^2 = 0,73$  (valeur toutefois inférieure à 2012, où  $r^2$  était égal à 0,86).

**Tableau III.** Contribution des différentes espèces aux herbiers de macrophytes dans les 5 stations étudiées lors de la campagne de septembre 2013, sur la base de leur biomasse (au niveau des placettes) et de leur recouvrement (au niveau des transects).

Station	Espèce	Contribution relative aux herbiers	
		Biomasse (placettes)	Recouvrement (transects)
<b>Bourret</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	63,9 %	63,9 %
	<i>Najas marina</i>	28,5 %	9,7 %
	<i>Potamogeton nodosus</i>	4,5 %	16,7 %
<b>Saint Aignan</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	55,9 %	40,6 %
	<i>Potamogeton nodosus</i>	16,6 %	23,9 %
	<i>Vallisneria spiralis</i>	27,1 %	14,0 %
	<i>Egeria densa</i>	0,0 %	14,2 %
<b>Monestié</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	67,1 %	68,7 %
	<i>Vallisneria spiralis</i>	32,9 %	22,6 %
<b>Malause</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	87,2 %	61,8 %
	<i>Vallisneria spiralis</i>	11,4 %	32,2 %
<b>Sainte Livrade</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	70,6 %	77,7 %
	<i>Vallisneria spiralis</i>	3,6 %	17,6 %
	<i>Ceratophyllum demersum</i>	18,4 %	1,1 %

Les données issues des transects sont plus représentatives de la station (surface échantillonnée supérieure) et prennent mieux en compte les espèces à faible recouvrement. En revanche, l'abondance relative en termes de recouvrement n'est pas strictement équivalente à une abondance relative en termes de biomasse (une espèce pouvant occuper une surface plus ou moins importante pour une biomasse donnée). A ce titre, l'estimation de l'abondance relative sur la base d'une biomasse est vraisemblablement plus fiable.

Nous avons choisi de calculer la contribution moyenne donnée par les deux mesures et d'utiliser cette valeur moyenne pour calculer la biomasse de chacune de ces espèces sur les différentes stations (Tableau IV).

**Tableau IV.** Biomasses des espèces dominantes dans chaque station en septembre 2013 (basées sur les valeurs de biomasse totale de macrophytes calculées présentées dans le tableau II, et sur les contributions moyennes par espèces présentées dans le tableau III).

Station	Espèce	Biomasse totale	Biomasse par unité de surface
<b>Bourret</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	< 7,3 t	< 0,68 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Najas marina</i>	< 2,2 t	< 0,20 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Potamogeton nodosus</i>	< 1,2 t	< 0,11 t ha <sup>-1</sup>
<b>Saint Aignan</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	< 7,4 t	< 0,67 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Potamogeton nodosus</i>	< 3,1 t	< 0,281 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Vallisneria spiralis</i>	< 3,2 t	< 0,285 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Egeria densa</i>	< 1,1 t	< 0,09 t ha <sup>-1</sup>
<b>Monestié</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	< 8,3 t	< 0,36 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Vallisneria spiralis</i>	< 3,4 t	< 0,14 t ha <sup>-1</sup>
<b>Malause</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	< 61,3 t	< 0,89 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Vallisneria spiralis</i>	< 17,9 t	< 0,31 t ha <sup>-1</sup>
<b>Sainte Livrade</b>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	≈ 20,9 t	≈ 1,96 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Vallisneria spiralis</i>	≈ 3,0 t	≈ 0,28 t ha <sup>-1</sup>
	<i>Ceratophyllum demersum</i>	≈ 2,8 t	≈ 0,26 t ha <sup>-1</sup>

### 3.2.3. Extrapolation à l'échelle du linéaire global

L'extrapolation à l'échelle du linéaire globale conduit à une biomasse atteignant au maximum 889,9 tonnes (ce qui correspond à une biomasse moyenne par unité de surface de 2,24 tonne par hectare).

Les 4 espèces les plus abondantes représentent, sur la totalité du linéaire étudié, plus de 90% de la biomasse totale. Avec une biomasse atteignant (au maximum) 105,3 tonnes, *Myriophyllum spicatum* présente à lui seul environ 70 % de la biomasse totale (tableau V).

Ces valeurs (probablement surestimées) sont néanmoins très nettement inférieures à celles évaluées en septembre 2012, qui se situaient entre 2789 et 5281 tonnes pour la biomasse totale, et entre 1385 et 2623 tonnes pour la biomasse de *Myriophyllum spicatum*.

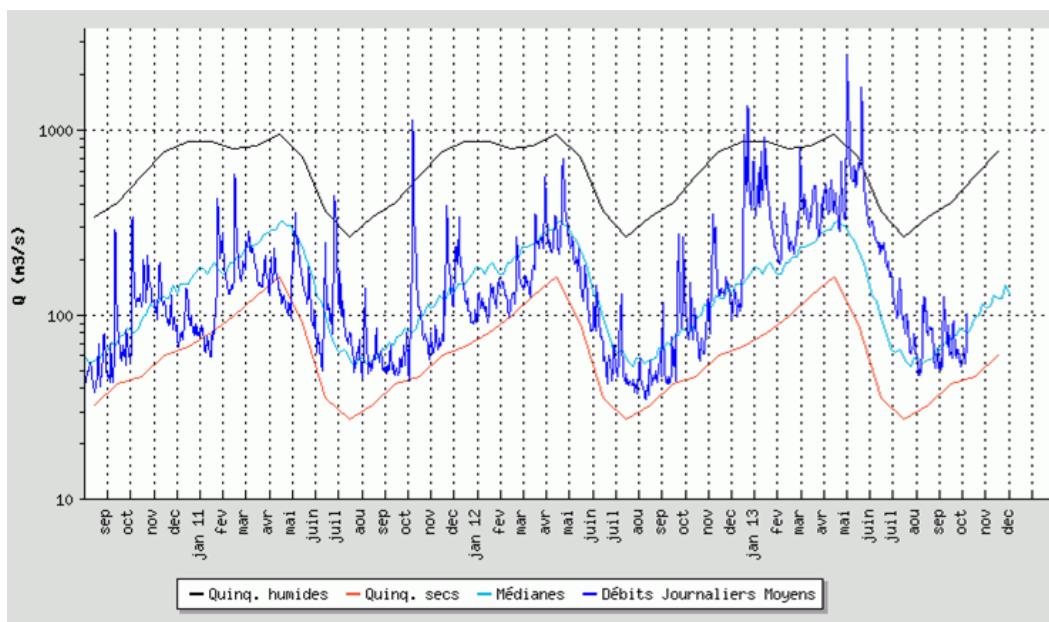
Par ailleurs, en septembre 2012, 7 espèces dépassaient les 100 tonnes de biomasse sur le linéaire étudié. Outre les 4 espèces les plus abondantes en 2013 (cf. Tableau V), venaient s'ajouter *Ranunculus fluitans*, *Elodea nuttallii* et *Ceratophyllum demersum*.

**Tableau V.** Biomasses des espèces dominantes, sur l'ensemble du linéaire étudié, en septembre 2013, basées sur la valeur de biomasse totale de macrophytes (889,9 t ; valeur calculée à partir de la biomasse moyenne par  $m^2$ , en utilisant les surfaces d'herbiers mesurées sur la totalité du linéaire en septembre 2012) et sur les contributions moyennes par espèce présentées dans le tableau III.

Espèce	Biomasse totale	Biomasse par unité de surface
<i>Myriophyllum spicatum</i>	< 585,0 t	< 1,47 t $ha^{-1}$
<i>Vallisneria spiralis</i>	< 146,1 t	< 0,37 t $ha^{-1}$
<i>Potamogeton nodosus</i>	< 58,4 t	< 0,15 t $ha^{-1}$
<i>Najas marina</i>	< 40,2 t	< 0,10 t $ha^{-1}$

### 3.3. Mise en relation des variations de biomasse avec l'hydrologie

Les résultats obtenus lors de cette deuxième année d'étude, montrent une forte diminution des herbiers de macrophytes à l'amont du CNPE de Golfech, la station étudiée sur le Tarn (Sainte-Livrade) faisant toutefois exception à cette tendance générale sur les stations de la Garonne.



**Figure 14.** Débit moyen journalier sur la Garonne à la station de Verdun sur Garonne entre septembre 2010 et octobre 2013.

(Source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>)

Cette forte diminution de biomasse sur la Garonne est de toute évidence imputable aux fortes crues survenues à partir de décembre 2012. Non seulement ces crues présentent une amplitude supérieure à celles des années précédentes, mais en plus les débits restent élevés jusque début juillet 2013 (Fig. 14). Dans ces conditions, il est vraisemblable que les crues aient non seulement conduit à l'arrachage des herbiers en place, mais également limité fortement la recolonisation printanière du fait de la contrainte hydraulique et de la turbidité qui en ont résulté à cette période, qui correspond normalement à la phase de croissance active des herbiers.

Nous n'avons pas à notre disposition de données hydrologiques pour le Tarn sur la période d'intérêt. Toutefois, nous formulons l'hypothèse que la relative stabilité des herbiers sur Sainte Livrable s'explique par un impact moindre des crues hivernales et printanières sur le Tarn, à mettre en relation avec le régime hydrologique de ce cours d'eau, caractérisé plutôt par des crues d'automne (Fig. 1).

## 4. Annexes

**Annexe 1 :** cartographie des espèces de macrophytes sur les stations étudiées lors de la campagne de septembre 2013.

**Annexe 2 :** méthodes de calcul de la biomasse des herbiers préconisées par EDF-DTG.

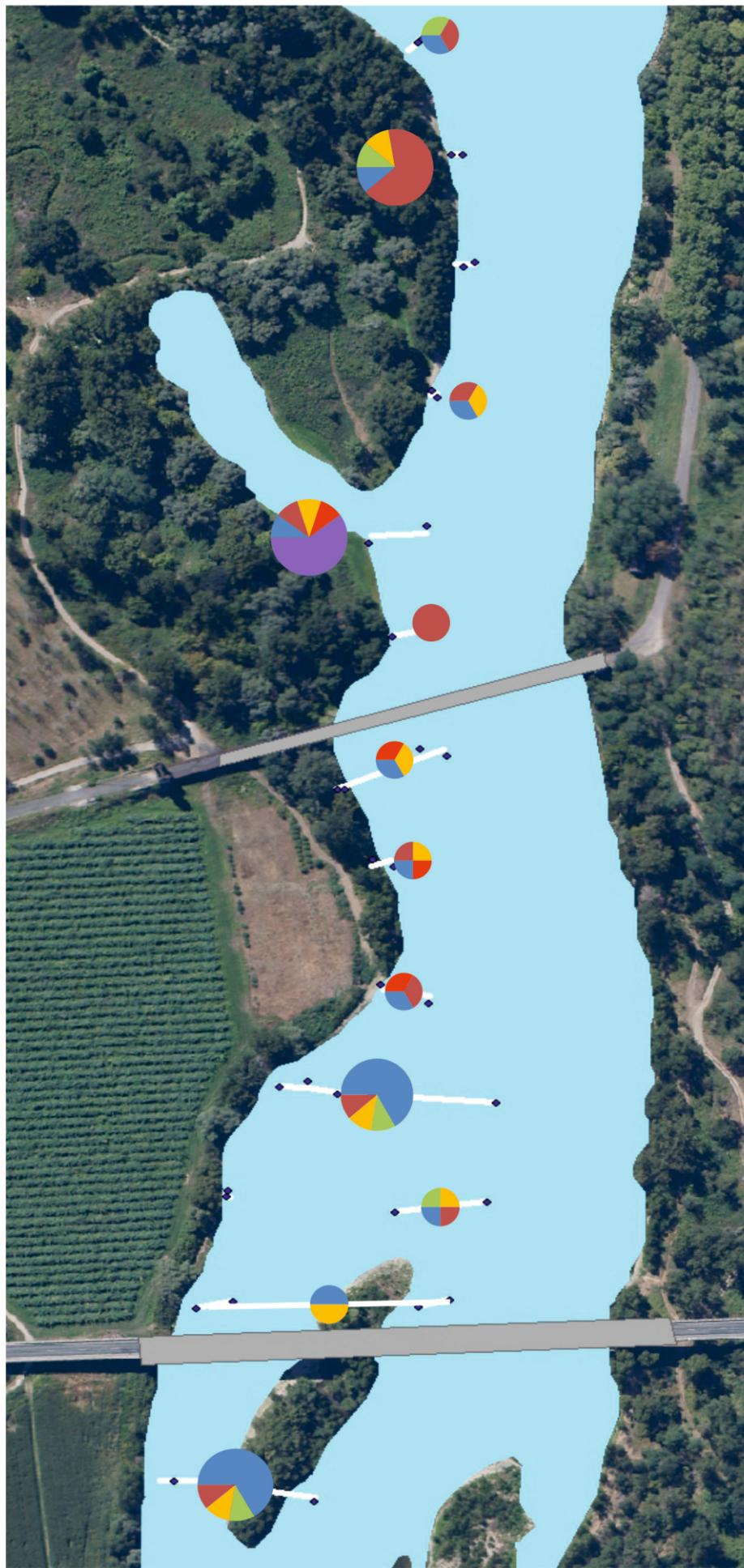
**Annexe 3 (format électronique) :** données collectées sur le terrain lors de la campagne de septembre 2013 (recouvrement total des herbiers, recouvrement et biomasse des différentes espèces de macrophytes, caractéristiques des stations).

**Annexe 4 (format électronique) :** calcul des biomasses de macrophytes lors de la campagne de septembre 2013, station par station et pour la totalité du linéaire étudié.

## **Annexe 1**

Cartographie des espèces de macrophytes sur les stations étudiées lors de la campagne de septembre 2013.

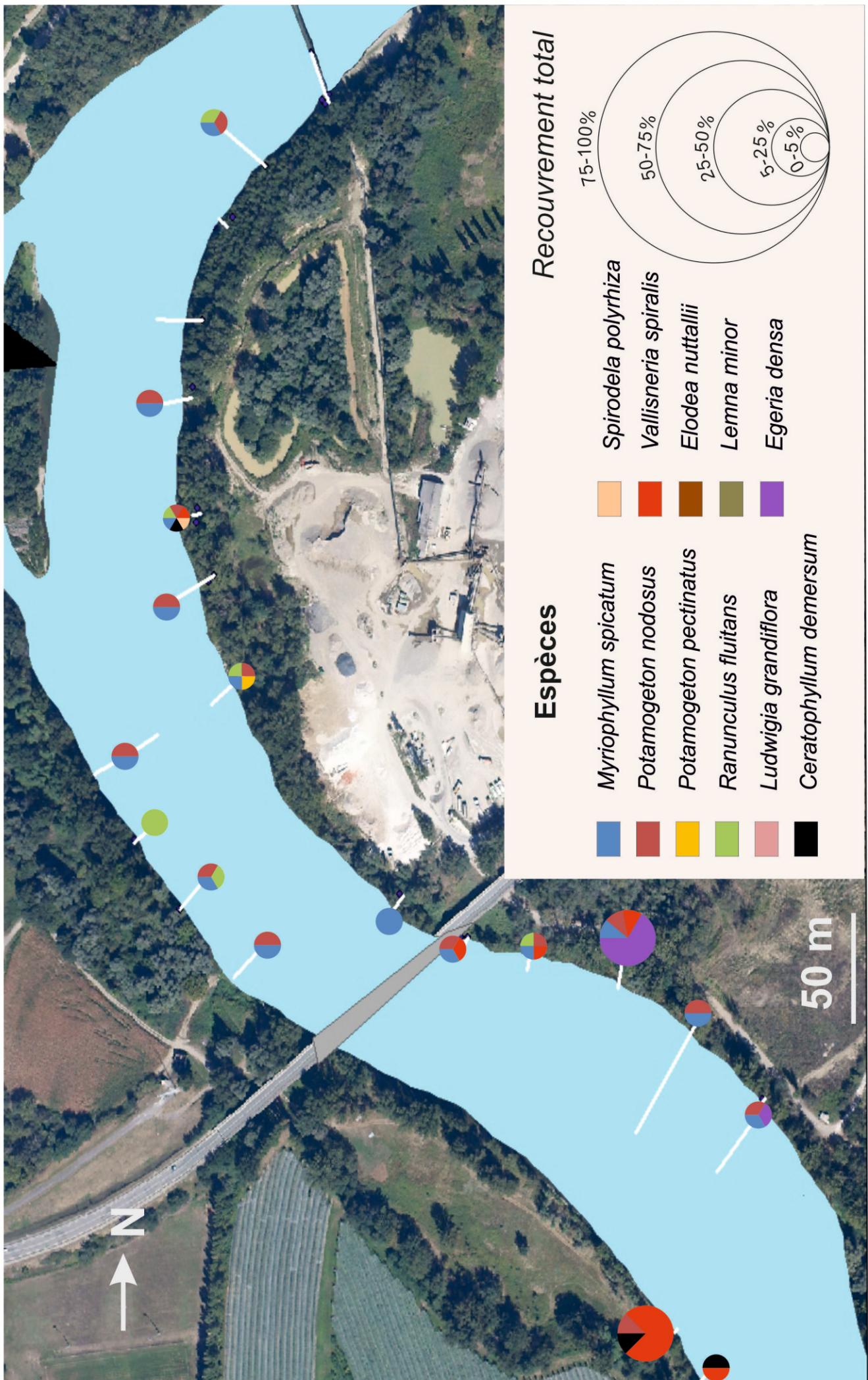
## Répartition des espèces sur les transects - Bourret (septembre)



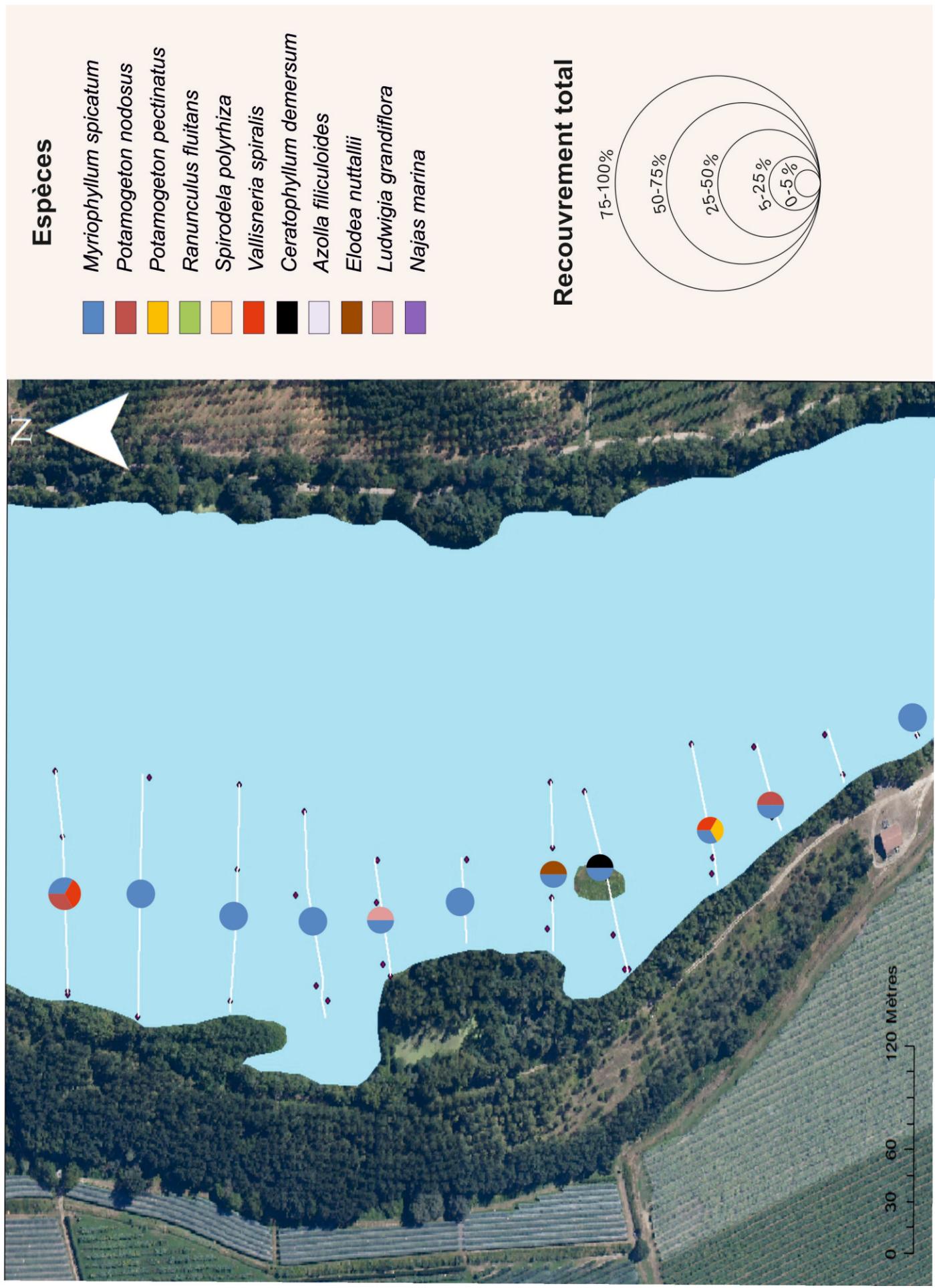
### Spécies



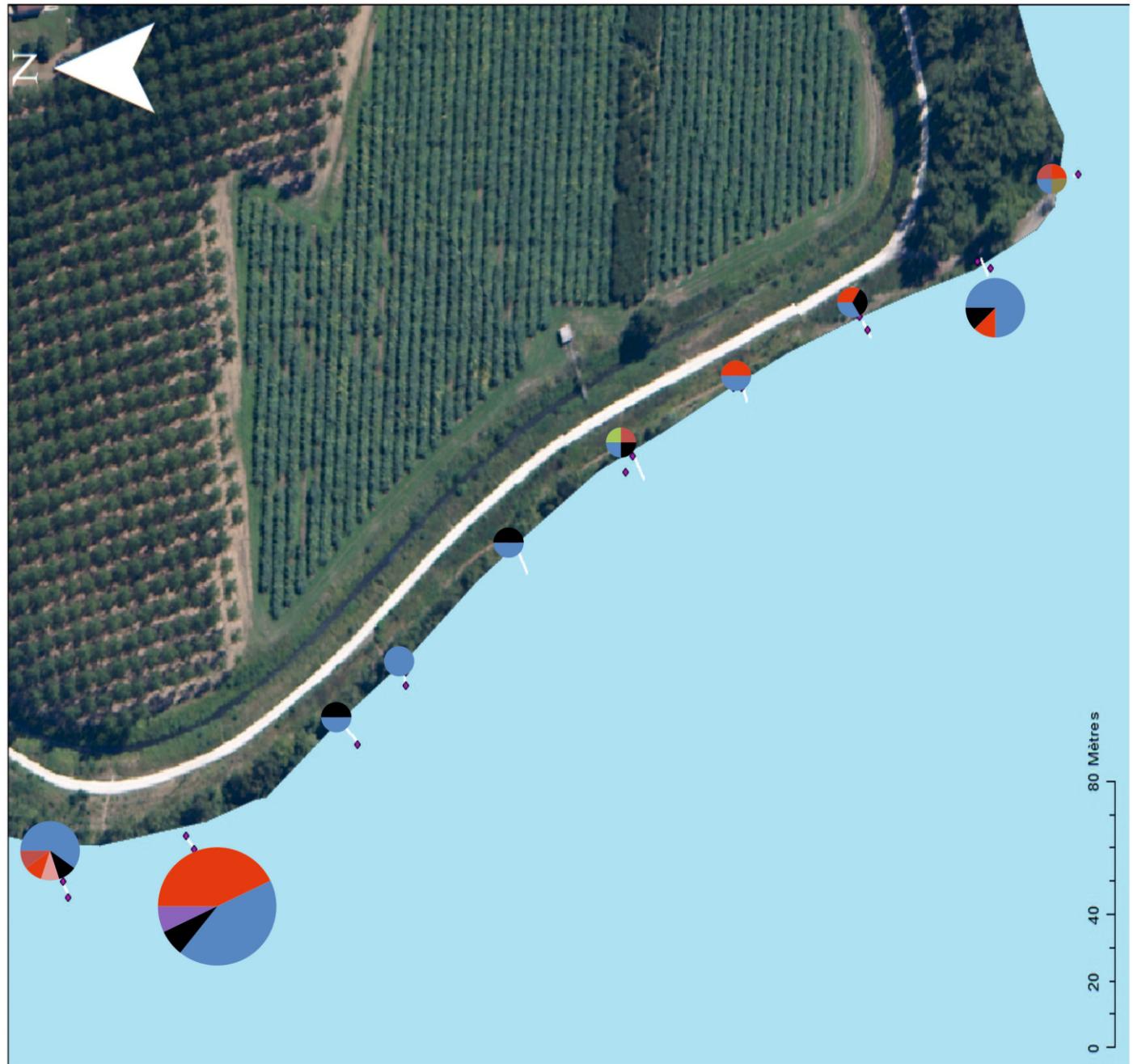
## Répartition des espèces sur les transects - Saint Aignan (septembre)



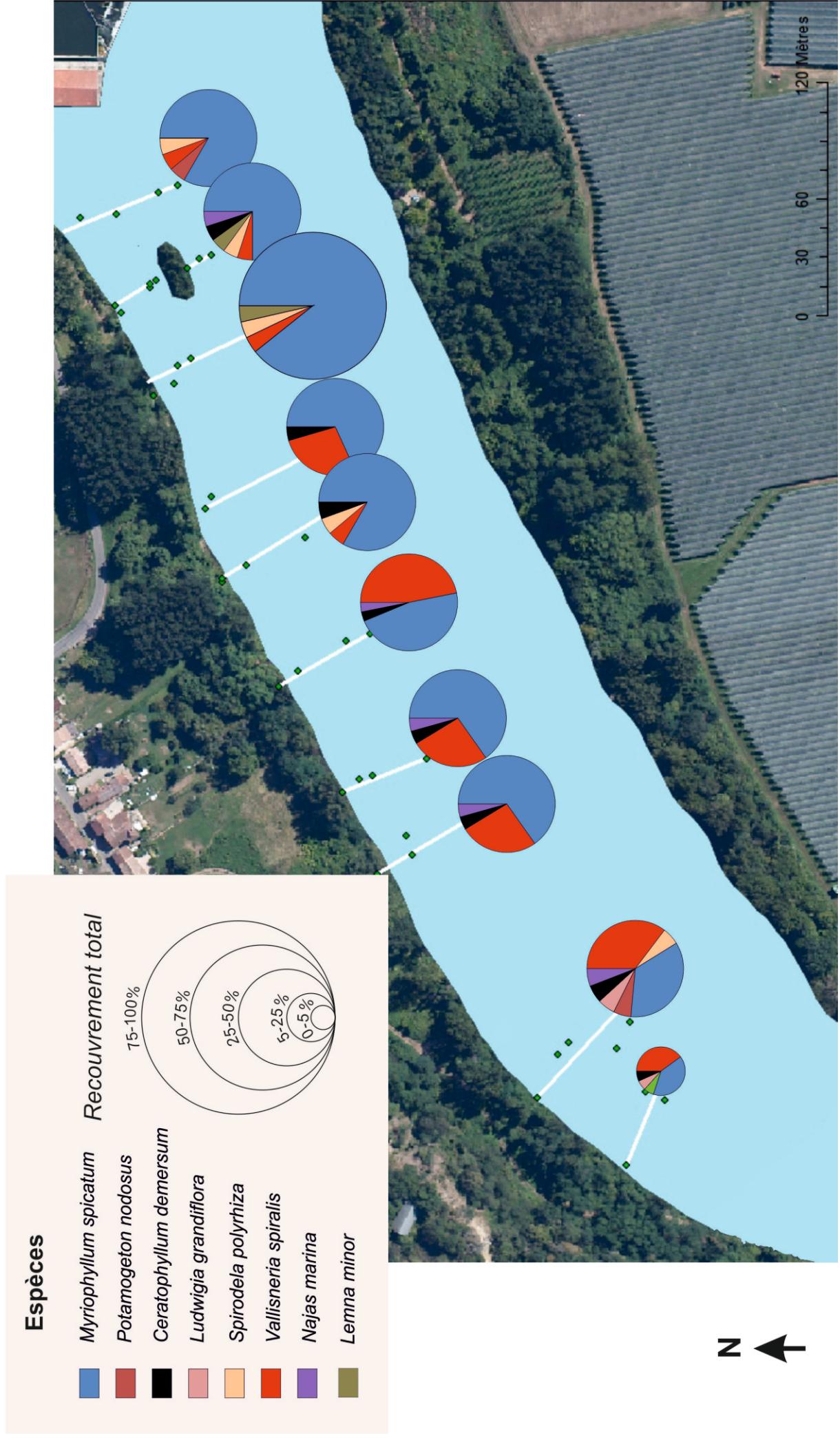
## Répartition des espèces sur les transects - Monestié (septembre)



## Répartition des espèces sur les transects Malausé (septembre)



## Répartition des espèces sur les transects - Sainte-Livrade (septembre)



## **Annexe 2**

Méthodes de calcul de la biomasse des herbiers préconisées par EDF-DTG.

## Calcul de biomasses

### 1. Biomasse des stations échantillonnées (prestataire terrain + Avion Jaune pour les surfaces)

Méthode 1 : Calcul simplifié (sans transect) par station :

- calcul de la biomasse moyenne des placettes par station (la somme des masses de végétaux par placette /  $m^2$  de placette) → résultat en kg de MF /  $m^2$  (sous réserve que les placettes soient bien toutes sur des herbiers) **Biomasse moyenne représentative de la station**
- calcul de la surface des herbiers par station (via géo-référencement Avion Jaune)
- étendre cette biomasse moyenne à la surface des herbiers par station (biomasse moyenne x surface) → résultat en kg de MF **Quantité de macrophytes totale sur la station**

Interprétations :

- Comparaison des biomasses moyennes représentatives des stations (stations homogènes ?)

Méthode 1 bis : A l'issue des campagnes de terrain, voir avec le prestataire si il est possible, sur la station, d'attribuer une placette à un type d'herbier (si la station n'est pas homogène). Et donc de calculer une masse par "herbier" à l'intérieur de la station puis faire la somme. Pour garder une plus grande précision à l'intérieur de la station.

Méthode 2 : Calcul par station (prise en compte des transects et de l'abondance recouvrement sans points-contacts) :

- calcul la biomasse moyenne par espèce par station (via les placettes) → kg MF /  $m^2$  / espèce
- calcul de la quantité moyenne par transect (somme de (biomasse par espèce x abondance de l'espèce sur le transect x surface du transect)) → kg MF
- calcul de la quantité totale de tous les transects (somme des quantités moyennes) → kg MF
- calcul de la surface totale de tous les transects →  $m^2$
- calcul de la moyenne des biomasses sur l'ensemble des transects représentatifs de la station (quantité totale dans les transects / surface totale des transects) → kg MF /  $m^2$
- calcul de la surface des herbiers par station (SIG)
- étendre cette biomasse moyenne à la surface des herbiers par station (biomasse moyenne sur l'ensemble des transects x surface des herbiers) → kg **Quantité de macrophytes totale sur la station**

NB : si une station possède plusieurs « types » d'herbiers, le calcul de biomasse devra être réalisé par « type » d'herbiers par station. **Nous avions essayé de choisir une station représentative d'un type d'herbier.**

NB : la surface des herbiers ainsi que le type d'herbiers sont délimitées sur SIG par collaboration entre les 2 prestataires

Méthode 3 : Calcul par station (prise en compte des transects et des points-contacts) :

- calcul la biomasse moyenne par espèce par station (via les placettes) → kg MF /  $m^2$  / espèce

- calcul du taux de recouvrement par espèce en pondérant l'occurrence par l'abondance des points-contacts pour chaque transects (protocole IBMR)
 
$$R_T = ((100(n_5 + 0,75n_4 + 0,5n_3 + 0,25n_2 + 0,05n_1)) / \sum n_t)$$

avec  $R_T$  taux de recouvrement en % de l'espèce sur le transect échantillonné,  
 $n_5 \text{ à } n_1$  nombre d'échantillons présentant des indices d'abondance respectifs de 5 à 1 pour l'espèce considérée,  
 $n_t$  nombre total d'échantillons observé (=nombre de points contacts réalisés).
- calcul de la quantité moyenne par transect (somme de (biomasse par espèce x taux de recouvrement de l'espèce sur le transect x surface du transect)) → kg MF
- calcul de la quantité totale de tous les transects (somme des quantités moyennes) → kg MF
- calcul de la surface totale de tous les transects → m<sup>2</sup>
- calcul de la moyenne des biomasses sur l'ensemble des transects représentatifs de la station (quantité totale dans les transects /surface totale des transects) → kg MF / m<sup>2</sup>
- calcul de la surface des herbiers par station (SIG)
- étendre cette biomasse moyenne à la surface des herbiers par station (biomasse moyenne sur l'ensemble des transects x surface des herbiers) → kg **Quantité de macrophytes totale sur la station**

## 2. Biomasse des sous-tronçons géo-référencés et traités par l'Avion Jaune

- DTG fournit le fichier kml avec les zones à géo-référencer (zones avec herbiers)
- Calcul des surfaces de tous les herbiers présents sur les sous-tronçons
- Classer chaque herbier par « type » (couleur, ...)
- Calcul la surface de chaque type d'herbiers
- Attribuer une biomasse par type d'herbiers pour une surface d'herbiers → kg MF / m<sup>2</sup>
- Calcul de la quantité totale de toutes les zones géo-référencées en amont du CNPE (en kg de MF)