



# Programme WILWATER

## Protocole de suivi expérimental



CONSEIL GENERAL  
FINISTÈRE  
Penn-ar-Bed

## SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
I – OBJET .....	3
II – DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	3
III –CALCUL DES DOSES DE BOUES OU D’EFFLUENT PRE EPURES APORTEES .....	4
1. Apport de boues de station d’épuration.....	4
2. Irrigation d’effluents pre-traités.....	5
IV – PROTOCOLE DE SUIVI .....	6
V – DESCRIPTION DES DIFFERENTS SUIVIS REALISES .....	7
1. Caractérisation des boues de station d’épuration.....	7
2. Caractérisation pédologique et agronomique .....	7
3. Caractérisation de l’évolution de la qualité des eaux.....	8
4. Evaluation de la biomasse ligneuse et des exportations .....	9
5. Diagnostic foliaire.....	9
6. Suivi entomologique.....	9
Bibliographie .....	10
ANNEXE 1 : PLANNING PREVISIONNEL DU SUIVI EXPERIMENTAL.....	11
ANNEXE 2 : LOCALISATION DES PLANTATIONS DE TPCR DE SAULE .....	12
ANNEXE 3 : CHIFFRAGE DES ANALYSES .....	13

## I – OBJET

Le programme Wilwater a pour objet de **valider la fonction épuratoire des taillis de saules**. Pour atteindre cet objectif, les sites font l'objet d'un suivi expérimental, selon un protocole bien défini, objet du présent document. Les sites doivent ensuite être équipés de moyens de contrôle de la performance du système TTCR dans sa fonction épuratoire.

Le suivi analytique se compose en plusieurs étapes :

- Caractérisation des boues ou effluents à épandre
- Caractérisation de l'état initial du sol et suivi agronomique des parcelles
- Caractérisation de l'évolution des eaux
- Caractérisation de l'exportation en biomasse

Ce protocole d'épandage et de suivi est basé sur le travail établi en 2002 par AILE et l'IDF (i.e. François Charnet, membre du Comité National Boues et Forêts) pour l'expérimentation de Pleyber Christ et avec Catherine Grimaldi de l'INRA pour l'analyse des eaux.

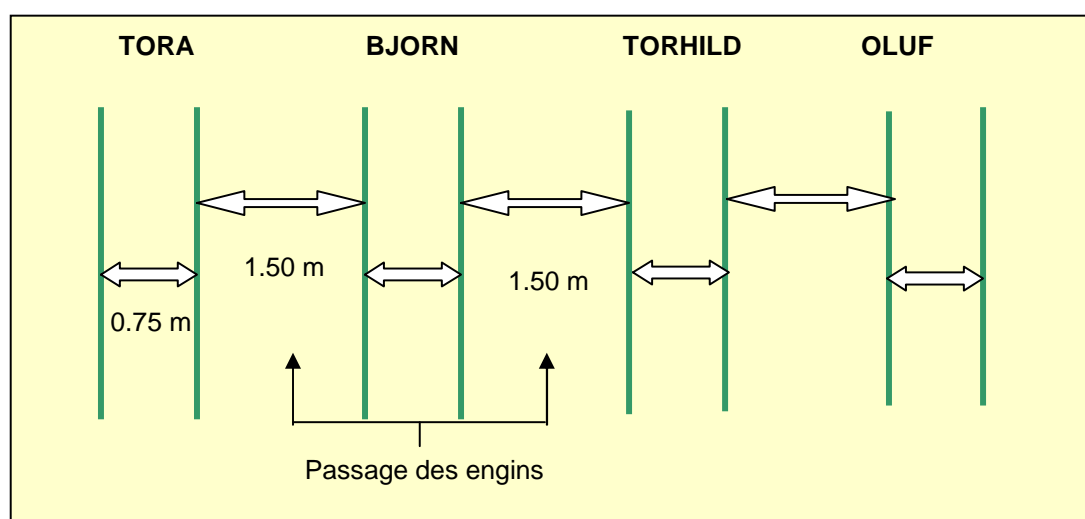
Ce protocole est validé par le comité de pilotage scientifique du programme, composé du Laboratoire ECOP de l'Université Catholique de Louvain en Belgique, de l'UMR INRA-Agrocampus «Sol Agronomie Spatialisation» Rennes, l'Institut du Développement Forestier, Bionis Environnement, la DRAF, ainsi que les différents financeurs du programme (Agence de l'Eau Loire Bretagne, Conseil Régional et Conseils Généraux de Bretagne, ADEME Bretagne et DIREN).

Ce protocole d'épandage reste général et sera à adapter à chaque site expérimental.

## II – DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les TTCR de saules sont installés par bouturage selon un plan de plantation habituellement utilisé en Suède, à savoir 1,5 boutures/m<sup>2</sup> avec des lignes dans le sens de la pente. Le recépage (coupe à ras pour déclencher la croissance en taillis) aura lieu l'hiver après la plantation.

Quatre variétés ont été choisies lors du premier comité de pilotage : les variétés BJÖRN, TORA, TORHILD, OLUF. Pour limiter la pression face à une attaque de ravageurs il a été choisi de faire un mélange de variétés sur chaque parcelle. Pour faciliter la récolte, des doubles rangs d'une même variété sont plantés. L'alternance des variétés est identique pour toutes les parcelles (cf. schéma ci-dessous). Il pourra être possible de mesurer l'effet variété sur certains paramètres du suivi (rendement, exportations...).



Pour l'expérimentation, les effets de bordure sont évités et il est essentiel de travailler sur du matériel végétal homogène.

Dans chaque parcelle, considérée comme homogène, on peut découper 3 parcelles unitaires correspondant aux modalités ou traitements du facteur testé, à savoir la dose de boues ou d'effluents: (nulle = T, simple = Q, double = 2Q).

Les thèmes scientifiques pouvant être traités par un tel dispositif sont donc :

- influence de la dose sur la croissance des saules (production de biomasse),
- influence de la dose sur la migration des éléments dans le sol et dans les eaux, et leur forme (spéciation),
- influence de la dose sur le transfert sol-plante.

### III –CALCUL DES DOSES DE BOUES OU D'EFFLUENT PRE EPURES APORTEES

#### 1. Apport de boues de station d'épuration

- **Aspects réglementaires**

Le dispositif réglementaire est constitué de trois textes :

- Le décret du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues de stations d'épuration qui fixe les conditions de l'épandage (JO du 10 décembre 1997)
- L'arrêté du 8 janvier 1998 (JO du 31 janvier 1998) sur l'épandage des boues de stations d'épuration qui précise les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, pris en application du décret n°97-1133 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
- La circulaire du 16 mars 1999 relative à l'épandage des boues de stations d'épuration urbaines.

L'épandage de boues se fera que sur des terrains épandables et en conformité avec la réglementation. La caractérisation des boues avant épandage (cf. partie IV. Protocole de suivi) permettra de vérifier la qualité réglementaire des boues d'épuration.

Le calcul des doses de boues épandables est encadré par plusieurs contraintes, à savoir :

- **des seuils réglementaires :**

- un apport total cumulé sur 10 ans inférieur à 30t de MS/ha (article 15 de l'arrêté du 8/01/1998)
- la valeur plafond des apports azotés 170 unités d'azote organique (UNO) /ha (Directive Nitrates 91-676-CEE du 12/12/1991), quantité calculée sur l'ensemble de la surface épandue, sera respectée.

- **des contraintes techniques afférentes au modèle de culture :**

- S'agissant de boues liquides, surveiller les quantités d'eau apportées à chaque épandage, afin d'éviter que des apports massifs entraînent des dégâts sur le sol (ruissellement, érosion) ou les végétaux (ennoiment, déchaussement).
- S'agissant du phosphore et du potassium surveiller les doses épandues en fonction des exportations par le saule, selon un ratio NPK d'environ 100-13-65 (Hasselgren, 1998).

- **Quantités épandables**

La simple dose est calculée sur la base des exportations prévisionnelles du saule en éléments fertilisants. Les besoins calculés en fertilisation lors du premier cycle sont les suivants : 130 kg N/ha/an, 42 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an, 113 kg de K<sub>2</sub>O/ha/an.

Les teneurs en éléments fertilisants contenus dans les boues sont déséquilibrées. Les doses apportées doivent être, dans la majorité des cas, calculées sur la base des teneurs en phosphore afin d'éviter toute surfertilisation. La teneur en phosphore présente dans les sols permettra de déterminer la tolérance de variation de stock en phosphore pour chaque site. Pour les sites dont la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable reste inférieure à 200 mg/kg sol, la tolérance d'excès sera de 2,5 fois les besoins du saule.

Si les concentrations en  $P_2O_5$  sont de 200 à 400 mg/kg sol, la tolérance d'excès sera de 1,5 fois les besoins du saule.

Pendant la durée de l'expérimentation, il pourra donc être apporté au maximum **130 kg N/ha/an, 105 kg de  $P_2O_5$ /ha/an et 113 kg  $K_2O$ /ha/an** sur les parcelles dont la teneur en  $P_2O_5$  est faible (< 200 mg/kg sol), **130 kg N/ha/an, 65 kg de  $P_2O_5$ /ha/an et 113 kg  $K_2O$ /ha/an** sur les parcelles dont la teneur en  $P_2O_5$  est moyenne (200 à 400 mg  $P_2O_5$ /kg sol), et 130 kg N/ha/an, 42 kg de  $P_2O_5$ /ha/an et 113 kg  $K_2O$ /ha/an pour les parcelles dont la teneur en  $P_2O_5$  est supérieure à la moyenne des sols agricoles bretons (400 mg  $P_2O_5$ /kg sol).

Une dose « 1,5 fois » sera appliquée sur le tiers de la parcelle

Une bande témoin fera l'objet d'un apport nul.

- **Périodicité des épandages**

L'apport sera fractionné en 1 fois pour la simple dose et en 2 fois pour la dose 1,5 fois (cf. calendrier prévisionnel en annexe 1).

On peut envisager le plan d'épandages suivant :

Pour les plantations de 2005 :

- premier apport l'année suivant la plantation (2006)
- deuxième apport l'année suivante (2007)

Pour les plantations de 2006 :

- premier apport l'année de plantation (2006), selon le stade de développement du saule. Si un épandage est effectué, seule une simple dose sera apportée vers le mois d'août.
- second apport l'année suivant la plantation (2007)

Les épandages seront préférentiellement réalisés au début du printemps.

## 2. Irrigation d'effluents pre-traités

- **Quantités irriguer**

L'analyse trimestrielle des effluents permettra de connaître leur nature exacte et de mieux ajuster les doses d'irrigation. Pour le calcul des quantités d'effluents que l'on peut irriguer, on se basera sur les contraintes réglementaires, les caractéristiques agronomiques et la composition des effluents de chaque site. Ainsi, différents facteurs peuvent être limitants :

- **La quantité d'eau apportée** : L'évapotranspiration du saule est plus élevée que l'évapotranspiration potentielle d'un couvert végétal de ray-grass (ET<sub>0</sub> de référence ou de Penman) (Allen et al., 1999). De grands volumes d'eau peuvent ainsi être traités : 6 mm/jour en moyenne sur la période de croissance (Hasselgren, 1998), mais l'épuration en hiver se limite à l'effet du sol. Environ 500 à 800 mm/an peuvent être apportés entre mars et novembre. Des apports plus massifs entraîneraient des dégâts sur le sol (ruissellement, érosion) ou les végétaux (ennoisement, déchaussement).
- **La quantité d'azote apportée** : Diverses expérimentations ont montré que l'apport annuel de 200 UN/ha pouvait être traité par le système, dès la deuxième année de croissance du saule. L'abattement de l'azote repose sur le processus d'épuration par le système sol + taillis. La micro-irrigation, technique de fertirrigation qui sera préférentiellement employée, permet d'apporter les éléments nutritifs de manière régulière et fractionnée, limitant ainsi le risque de lessivage d'azote. La dose simple pourra donc correspondre à un apport de 170 UN/ha.
- **La quantité de phosphore ou de potassium apportée** : aucune réglementation n'existe pour le moment concernant les teneurs maximales épandables en phosphore et potassium. Le rapport NPK dans les bois de saules varie selon les sites. Dans le cas d'une expérience Suédoise, par

exemple, il a été de 100-13-65 (Hasselgren, 1998). Pour une exportation théorique de 170 UN/ha, il peut donc être possible d'exporter 22 unités de phosphore et 110 unités de potassium par hectare. En fonction de la composition des effluents, les teneurs en phosphore ou potassium peuvent alors être le facteur limitant. Un des objectifs du programme est de préciser les exportations potentielles du saule en NPK en fonction des doses apportées.

- **Les contraintes réglementaires locales :** les projets d'irrigation d'effluents pré-traités sont soumis à une autorisation de rejet de chaque station. Des contraintes locales peuvent être imposée en fonction de la sensibilité du milieu naturel.



- **Périodes d'irrigation**

Les besoins en eau du saule sont surtout situés entre mars et octobre, période de croissance du saule. Pendant cette période les doses irrigables sont en moyenne de 3 mm/ jour.

Par contre, l'épuration en hiver se limite à l'effet du sol et n'influence donc pratiquement pas le contenu des eaux en nitrates. Les volumes d'effluents traités seront donc très faibles en comparaison avec ceux traités en été. Les effluents devront alors être stockés temporairement en hiver.

## IV – PROTOCOLE DE SUIVI

On se réfère dans ce chapitre au document collectif du Comité National Boues et Forêts coordonné par l'INRA. (Carnus J.M., 2002).

Par référence à la nomenclature de ce document, on vise dans notre essai l'intensité de suivi d'un « site expérimental de base », dit « de niveau I ». Les sites –ateliers, de niveau 2, engagent des niveaux d'instrumentation et des budgets d'analyses qui dépassent les capacités techniques et financières d'organismes de développement et les restreignent aux organismes de recherche. Toutefois, sur tel ou tel point, on pourra être amené à ajouter des paramètres au programme « minimum » des sites de niveau I.

**Le protocole de niveau I** retenu est résumé dans le tableau suivant:

Le chiffrage économique des analyses se trouve en [Annexe 3](#).

Paramètre suivi	Procédé instrumental	Périodicité	Responsable(s)
<b>Apports</b>			
Caractérisation des boues	Echantillonnage, analyses	Avant épandage	Laboratoire agréé
Données climatiques (P, ETP)	Station météo Météo France Station à proximité de chaque site	Moyennes sur 10 ans Relevé réel sur la durée de l'expérimentation	AILE
<b>Sols et eaux</b>			
Caractéristiques pédologiques	Fosses : description- Sondages : échantillonnage Analyses de sol	Année N Avant épandage (état 0) et suivi annuel	AILE + appui IDF AILE Laboratoire
Qualité des eaux	Piézomètres, drains, résines échangeuses d'ions Analyses	4 mesures/an	AILE + appui INRA / IDF Laboratoire
<b>Boisement</b>			
Evaluation biomasse exportée	Estimations hauteur + diamètre Echantillonnage récolte pesée Analyse	Années N+1, N+ 2, N+3  Année N+3	AILE  Laboratoire
Analyses foliaires	Récolte, commande Extraction, dosage	Années N+2 et N+3	AILE Laboratoire
Analyse entomologique	Observations	Années N à N+3	INRA Orléans

# V – DESCRIPTION DES DIFFERENTS SUIVIS REALISES

## 1. Caractérisation des boues de station d'épuration

Une première caractérisation pourra en général être donnée par les analyses de routine faites par la station d'épuration ou l'entreprise.

Une caractérisation plus précise sera faite avant chaque épandage. Les échantillons seront envoyés dans un laboratoire agréé.

Les analyses faites pour l'expérimentation concernent la valeur agronomique et les teneurs en éléments traces métalliques, conformément à l'arrêté du 8 janvier 1998 sur l'épandage des boues.

## 2. Caractérisation pédologique et agronomique

### ❖ *Description détaillée du sol*

Cette opération vise à mieux connaître la morphologie des sols ; elle permet de connaître la dynamique de circulation des eaux de la parcelle, d'optimiser l'installation des piézomètres et drains par la suite, afin de recueillir des échantillons d'eau représentatifs de l'eau en sortie de parcelle.

Des cartes topographiques permettent d'avoir un premier aperçu de la morphologie des sols. La description des types de sols est ensuite réalisée à partir de 2 ou 3 fosses creusées le long d'un transect dans le sens de la pente.

Les paramètres suivants seront décrits : épaisseur de l'horizon, caractère organique ou non, structure, texture, couleur et état de l'humidité, compacité, porosité, taux d'éléments grossiers, racines (taille, nombre), traces d'activité biologique, enrobement (organiques, minéraux), traces d'hydromorphie, limite. Une fiche descriptive sera rédigée en situant la fosse sur la parcelle.

### ❖ *Caractérisation de l'état zéro géochimique.*

Cette caractérisation permet d'avoir une vue d'ensemble de la nature du sol et de sa structure avant la mise en place du traitement naturel des effluents.

Les parcelles sont divisées selon deux modalités à étudier : dose simple et dose double. Pour chacune des modalités, 3 échantillons seront prélevés, selon les profondeurs suivantes 0-10 ; 10-30 ; 30-60 cm. Chaque échantillon correspondant à un horizon est élaboré par le mélange de 4-5 grappes élémentaires. Chaque échantillon sera considéré comme l'échantillon moyen unique parfaitement représentatif de la parcelle unitaire et de la modalité étudiée. Pour chaque parcelle de 5 ha, 6 échantillons sont donc prélevés. Les grappes prélevées sont positionnées sur le plan de la parcelle.

Les analyses suivantes seront réalisées : matière sèche, carbone organique, azote total, C/N , N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO totaux ; + 7 éléments traces métalliques (ETM) (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc totaux).

Les résultats de l'ensemble de ces analyses permettent de déterminer l'état initial du sol avant le commencement de l'expérience.

#### ❖ **Suivi agronomique annuel**

Une analyse intermédiaire est effectuée en 2006 afin de suivre l'évolution des paramètres agronomiques du sol. Ce suivi permet d'observer l'ensemble des paramètres précités à l'exception des métaux lourds et d'intervenir sur les éléments suivants :

- Les amendements éventuels (azote, phosphore, potasse, etc.)
- La réduction ou l'augmentation des doses d'irrigation.

#### ❖ **Suivi du profil azoté**

Un profil azoté est effectué deux fois par an, avant et après la période hivernale. Les échantillons seront prélevés plus profondément que pour les analyses de sol pour pouvoir suivre la courbe de percolation de l'azote.

L'objectif de ces analyses est :

- mesurer la quantité d'azote minéral encore présent à différents moments
- évaluer le profil de distribution de cet azote (analyse à 3 différentes profondeurs)

La méthode utilisée reste la même que celle de l'analyse de l'état zéro.

#### ❖ **Caractérisation de l'état du sol en fin d'expérimentation**

Caractérisation de l'état du sol après deux années d'épandage (année N+2). Le protocole d'échantillonnage est identique à celui de l'état initial.

### 3. Caractérisation de l'évolution de la qualité des eaux

Un suivi de l'évolution de la qualité des eaux réceptrices au niveau des nappes phréatiques présentes sous le site expérimental ou au niveau des eaux de surface permet de détecter d'éventuelles variations de concentrations.

La pertinence de ces récoltes et analyses dépend de la circulation de l'eau sur le site, définie lors de l'étude pédologique, en particulier son drainage interne et externe, l'existence d'une nappe libre, etc. Les moyens de mesure de l'évolution des eaux et le nombre d'instruments installés peuvent varier en fonction de la configuration de chaque parcelle.

Si la nappe est très profonde par exemple, l'eau de drainage qui rejoindra in fine la nappe sera largement filtrée par le sol. Dans ce cas, il faudra suivre les teneurs dans le sol assez profondément pour vérifier jusqu'où le sol est affecté par les apports, et voir comment extrapoler sur de plus longues périodes.

#### ❖ **Nombre d'instruments par site**

Etant donné la très forte variabilité chimique, spatiale et temporelle qui peut exister le long d'une nappe, il est important d'installer un nombre suffisant d'instruments de mesures.

Pour la majorité des sites, un minimum de 3 piézomètres est installé dans la partie aval de la parcelle, et lorsque cela est possible, 3 autres piézomètres sont installés à l'amont de la parcelle. Ceci, pour pouvoir comparer la nappe à l'amont et à l'aval de la parcelle de saule.

Un ou deux sites les mieux adaptés, font l'objet d'un suivi plus approfondi. Un plus grand nombre de piézomètres y est installé, permettant d'appréhender de manière plus précise les questions de variabilité de la nappe dans les premiers mètres supérieurs.



#### ❖ **Profondeur d'installation des instruments**

La profondeur d'installation des piézomètres est traitée au cas par cas en fonction de l'épaisseur de battement de la nappe pour chaque site. La partie la plus superficielle de la nappe représente le mieux les apports de la parcelle et sa variabilité est la plus importante. Le piézomètre doit couvrir toute la zone de battement de la nappe, pour pouvoir réaliser des prélèvements d'eau en toute saison. L'idéal est donc d'installer deux piézomètres proches, enfouis à des profondeurs différentes, pour permettre de prélever de l'eau pendant toute l'année et de mesurer la variabilité de concentration de la nappe.

#### ❖ **Fréquence de prélèvements**

On prévoit de faire 4 analyses pendant la saison de transfert qui suit chaque campagne d'épandage (octobre-février).

## 4. Evaluation de la biomasse ligneuse et des exportations

La production de biomasse pourra être évaluée selon deux méthodes :

### **Méthode non destructive**

Cette méthode permet d'estimer la croissance du saule. Pour cela on mesure la hauteur et le diamètre des pieds de saule. Pour chaque variété on détruira une trentaine de pieds, afin de déterminer la formule permettant de calculer la production de biomasse en fonction de la hauteur et du diamètre des pieds de saule.

L'intérêt de cette méthode est de pouvoir comparer avant la récolte, les rendements obtenus en fonction des différents itinéraires culturaux et modalités d'irrigation. Elle permet également d'avoir une estimation du rendement dans le cas où la récolte n'ait pas pu être réalisée.

Ce type de mesure sera réalisé en 2006 et 2007 sur toutes les parcelles.

### **Méthode destructive**

Le rendement est calculé lors de la récolte des saules. Ce rendement correspond à l'exportation nette, sachant que la biomasse foliaire retourne chaque année au sol.

Lors de la récolte du bois de saule, des échantillons sont collectés au niveau de chaque modalité (dose simple et double dose), afin de mesurer la composition du bois et de doser les ETM.

## 5. Diagnostic foliaire

L'analyse des feuilles de saules permet de déceler une carence éventuelle et de préciser le devenir des éléments apportés par les boues ou effluents.

Les analyses portent sur les paramètres agronomiques (N-P-K-Ca-Mg), la MS et le poids de 100 feuilles, les oligo-éléments (Cu-Zn-Mn-Bo) et les ETM.

Pour chaque modalité testée (dose simple et double dose), on prend 100 feuilles pour constituer un échantillon. Elles sont collectées et analysées en septembre 2006 et 2007.

## 6. Suivi entomologique

Un suivi entomologique comprend une étude de sensibilité des saules aux insectes et à la rouille. L'étude de sensibilité des clones est réalisée entre 2005 et 2007.

## Bibliographie

Allen, S., Hall, R.L et Rosier P.T.W. (1999): "Transpiration by two poplar varieties grown as coppice for biomass production", in : *Tree Physiology*, N°19, Heron Publishing-Victoria, Canada.

CARNUS J.M. (coord.), 2002 – *Epandages expérimentaux de boues sur parcelles boisées. Recommandations pour la conception de dispositifs expérimentaux*. Institut National de la Recherche Agronomique, 53 p.

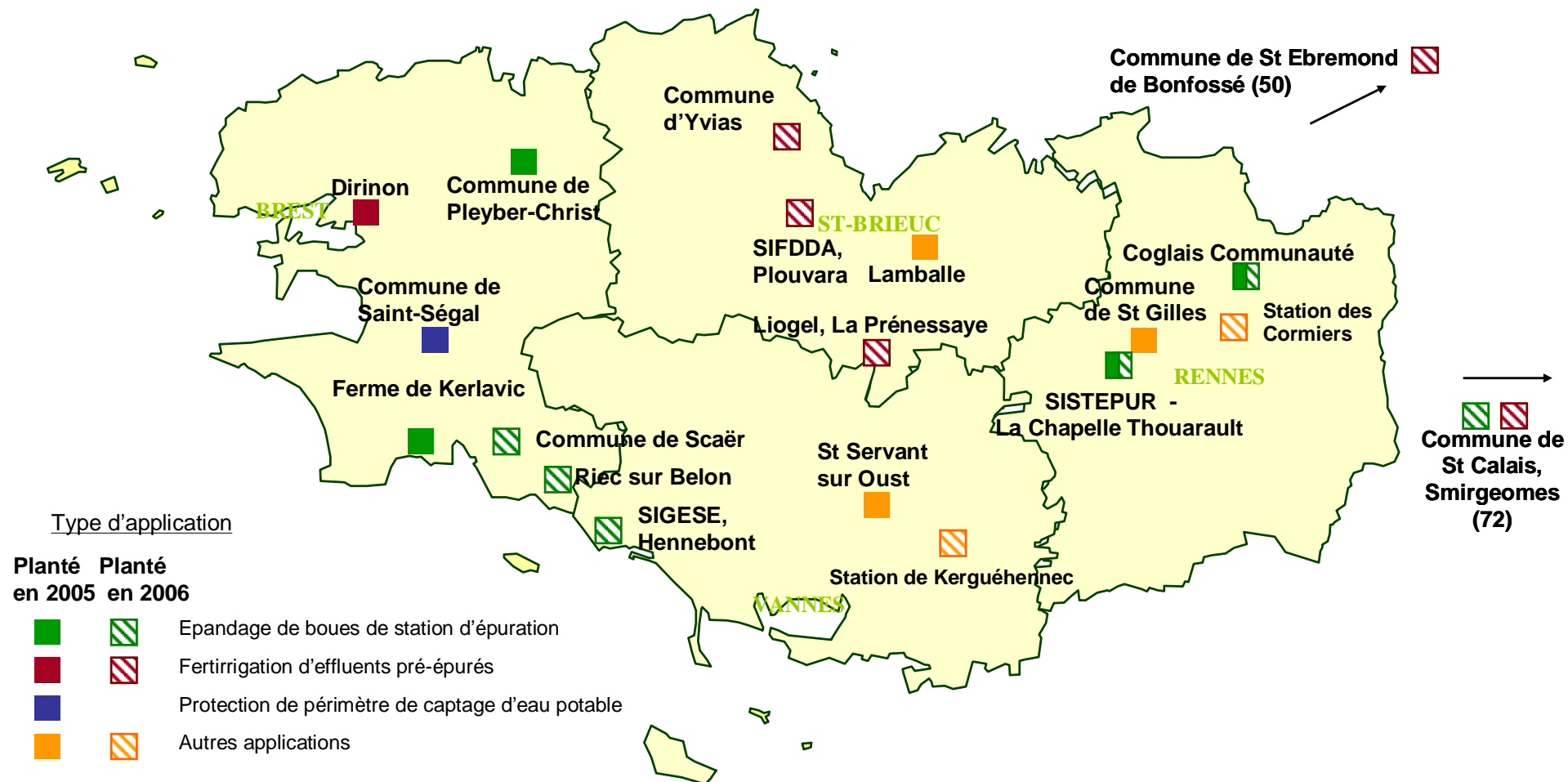
Hasselgren, 1998 : "Use of municipal wastewater in short rotation energy forestry – full-scale application", in : *Biomass for Energy and Industry*, 10<sup>th</sup> European Conference and technology exhibition, 8-11 June, Würzburg, CARMEN, Germany, p.835-838.

## ANNEXE 1 : PLANNING PREVISIONNEL DU SUIVI EXPERIMENTAL

### Plantations 2005

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2005		Préparation du terrain	E0 sol	Plantation Désherbage	Désherbage						Recépage	
2006	Installation instruments	Essais de prélèvement eaux		1 <sup>er</sup> épandage			2 <sup>ème</sup> épandage		Prélèvement feuilles		Prélèvement eaux Prélèvements sol Reliquats N	Prélèvement eaux
	Prélèvement eaux	Prélèvement eaux Reliquats azotés	1 <sup>er</sup> épandage		2 <sup>ème</sup> épandage				Prélèvement eaux Prélèvement feuilles	Prélèvement eaux Récolte Prélèvement bois	Prélèvement eaux Prélèvement sol	Prélèvement eaux

## ANNEXE 2 : LOCALISATION DES PLANTATIONS DE TCR DE SAULE



## ANNEXE 3 : CHIFFRAGE DES ANALYSES

### Détail des coûts unitaires d'analyse et de prélèvement (en €/échantillon)

Les coûts unitaires prévisionnels sont basés sur les coûts d'analyses effectuées dans le cadre du programme expérimental concernant la plantation de Pleyber Christ.

#### **Caractérisation des boues ou des effluents**

- ✓ Coûts de prélèvement des échantillons : **22 €/prélèvement** (prestation)
- ✓ Coût unitaire d'analyse : **214 €/analyse**
- ✓ Eléments analysés : Matière sèche, Carbone organique, Azote total, C/N , N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO totaux ; + 7 éléments traces métalliques (ETM) (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc totaux).

#### **Caractérisation des sols**

- ✓ Ouverture fermeture des fosses tractopelle (forfait) : **396 €**

#### **Analyses agronomiques**

- ✓ Coût unitaire de l'**analyse complète** : **144 €/analyse**
- ✓ Eléments analysés : Granulométrie, pH eau, matière organique, calcaire total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen, Cations échangeables. (Ca, Mg, K, Na), K<sub>2</sub>O, MgO, CaO, capacité d'échange cationique, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, 4 oligo-éléments (Cu, Zn, Mn, Bo), + 7 ETM (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc totaux).
- ✓ Coût unitaire de l'**analyse agronomique** (paramètres agronomiques seuls) : **88€/analyse**
- ✓ Eléments analysés : Granulométrie, pH eau, matière organique, calcaire total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Olsen, Cations échangeables. (Ca, Mg, K, Na), K<sub>2</sub>O, MgO, CaO, capacité d'échange cationique, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, 4 oligo-éléments (Cu, Zn, Mn, Bo)
- ✓ Coût unitaire des **reliquats azotés**: **14€/analyse**
- ✓ Eléments analysés : N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, 4 oligo-éléments (Cu, Zn, Mn, Bo)

#### **Analyse des eaux**

- ✓ Coût unitaire de l'**analyse chimique**: **50€/analyse**
- ✓ Paramètres chimiques pour les bougies poreuses : pH, conductivité, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, Carbone organique soluble, Ca, Mg, K, Na, P
- ✓ Coût unitaire de l'**analyse complète** : **100€/analyse**
- ✓ Paramètres chimiques pour les bougies poreuses : pH, conductivité, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, Carbone organique soluble, Ca, Mg, K, Na, P + 7 ETM.

#### **Analyse biomasse**

- ✓ Coût d'une analyse de matériel végétal (bois ou feuilles) **116 €/ha**
- ✓ Paramètres étudiés : Matière sèche, humidité, N, P, K, Ca, Mg totaux, + 7 ETM totaux

**Dépenses prévisionnelles liées au suivi expérimental (en € HT par parcelle de 5 ha)**

**Cas de l'épandage de boues**

Année	2005	2006	2007	Total
<b>BOUES ou EFFLUENTS</b>				
Caractérisation agronomique + ETM (6 éch./an)		1 416	1 416	2 832
<b>SOLS</b>				
Caractérisation fosses + fermeture	1 188			1 188
Etat zéro sol ( 3 modalités* 3 profondeurs)	1 296			1 296
Suivi intermédiaire (3 modalités* 3 profondeurs)		792		792
Reliquats azotés		252	252	504
Etat final (3 modalités* 3 profondeurs)			1 296	1 296
<b>EAUX</b>				
Eaux superficielles (4 piézo * 4 mesures/an)		1 600	1 600	3 200
<b>BIOMASSE</b>				
Diagnostic foliaire (3 échantillons)		348	348	696
Bois (3 échantillons)			348	348
<b>TOTAL pour 5 ha</b>	2 484	4 408	4 912	<b>12 152</b>

**Cas de l'irrigation d'effluents pré-traités**

Année	2005	2006	2007	Total
<b>BOUES</b>				
Caractérisation agronomique + ETM (4 éch./an)		944	944	1 888
<b>SOLS</b>				
Caractérisation fosses + fermeture	1 188			1 188
Etat zéro sol (2 modalités* 3 profondeurs)	864			864
Suivi intermédiaire (2 modalités* 3 profondeurs)		528		528
Reliquats azotés (2 modalités* 3 profondeurs)		84	84	168
Etat final (2 modalités* 3 profondeurs)			864	864
<b>EAUX</b>				
Eaux superficielles (4 piézo * 4 mesures/an)		1 600	1 600	3 200
<b>BIOMASSE</b>				
Diagnostic foliaire (2 échantillons)		232	232	464
Bois (2 échantillons)			232	232
<b>TOTAL pour 5 ha</b>	2 052	3 388	3 724	<b>9 396</b>

Ce coût de suivi ne comprend pas les coûts de prélèvements des analyses, ni d'investissement dans les instruments de contrôle (piézomètres, drains...)

Ce coût de suivi variera selon les parcelles, en fonction du niveau de suivi choisi, des caractéristiques et des exigences réglementaires de chaque site expérimental.