



PLAN D'EPANDAGE

SAS ENVO 45

RAPPORT FINAL

Conseiller en charge de l'étude

Sébastien BARON

Responsable Equipe Grandes Cultures – Fourrages

Janvier 2022

CHAMBRE D'AGRICULTURE DU LOIRET
REPUBLIQUE FRANÇAISE
Etablissement public
loi du 31/01/1924
Siret 184 500 031 000 28
APE 9411Z

www.loiret.chambagri.fr



TABLE DES MATIERES

Table des matieres.....	2
Liste des tableaux	5
Liste des Figures.....	6
1. Généralités et objet du présent dossier.....	7
1.1. Coordonnées du pétitionnaire	7
1.2. Présentation du projet.....	7
1.3. Liste des exploitations appartenant au projet	10
2. La présentation du plan d'épandage	11
2.1. La valorisation agronomique des effluents.....	11
2.2. La méthodologie.....	11
3. Contexte environnemental	12
3.1. Cadre géographique et géomorphologique.....	12
3.1.1. Localisation géographique.....	12
3.1.2. Milieu naturel.....	16
3.1.3. Topographie.....	16
3.2. Contexte climatologique.....	17
3.3. Contexte Géologique	19
3.3.1. Contexte général.....	19
3.3.2. Contexte local	22
3.4. Hydrogéologie	25
3.4.1. Aquifères en présence.....	25
3.4.2. Description des complexes aquifères.....	26
3.5. Contexte hydrographique.....	35
3.5.1. Hydrographie	35
3.5.2. Hydrologie.....	36
3.6. Conformité aux SDAGE	37
3.6.2. Conformité au SAGE Nappe de Beauce et milieux aquatiques associés	38
3.7. Zones de protection environnementales et d'inventaires	39
3.7.1. Définition de ces zones.....	39
3.7.2. Recensement des sites environnementaux.....	40
3.8. Zones vulnérables.....	41
4. Les sols	41
4.1. Généralités.....	41



4.2. Descriptions des sols	42
5. Aptitudes à l'épandage	43
5.1. Généralités sur le pouvoir épurateur des sols	43
5.2. Tableaux de synthèse des aptitudes des sols à l'épandage	44
5.3. Analyses de sols.....	47
5.3.1. La granulométrie.....	48
5.3.2. Le pH.....	49
5.3.3. La Matière Organique.....	49
5.3.4. Eléments majeurs.....	50
5.3.5. Eléments traces métalliques.....	50
5.4. Distances et conditions d'épandage.....	51
5.5. Modalités de stockage et matériel d'épandage.....	52
5.5.1. Stockage du digestat liquide.....	52
5.5.2. Stockage du digestat solide	52
5.5.3. Épandage du digestat liquide.....	53
5.5.4. Épandage du digestat solide.....	53
6. Assolements pratiqués.....	55
7. Modalités et doses d'apport	56
7.1. Période d'épandage.....	56
7.2. Doses d'apports.....	59
8. Autres apports organiques	63
9. Bilans globaux des apports organiques à l'exploitation.....	63
10. Suivi des épandages et enregistrement.....	65
11. Analyse de l'incidence de l'épandage Et mesures prises pour les limiter.....	67
11.1. Trafic routier.....	67
11.2. Incidences sur la ressource en eau	67
11.2.1. Eaux souterraines.....	67
11.2.2. Eaux superficielles.....	68
11.3. Incidences sur l'environnement naturel	69
11.3.1. Natura 2000	69
11.3.2. ZNIEFF.....	69
11.3.3. Conclusion.....	69
11.4. Les risques liés aux apports de minéraux.....	69
11.4.1. Les nitrates.....	69
11.4.2. Le phosphore	71
11.5. Incidence sur les populations et le personnel	74



11.5.1. Le bruit et les odeurs.....	74
11.5.2. Les risques sanitaires.....	75
Conclusion.....	80
Annexes.....	81



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Gisement des matières entrantes	8
Tableau 2 : Caractéristiques des digestats liquides.....	9
Tableau 3 : Caractéristiques des digestats solides	9
Tableau 4 : Localisation des parcelles d'épandage	14
Tableau 5 : Principales données climatiques et bilan de l'eau dans les sols	18
Tableau 6 : Caractéristiques des captages AEP et de leurs périmètres de protection respectifs	31
Tableau 7 : Recensement des masses d'eau sur les communes d'épandage.....	35
Tableau 8 : Données hydrologiques des principaux cours d'eau du secteur (Source : Banque Hydro)	36
Tableau 9 : Recensement des zones de protection environnementales.....	40
Tableau 10 : Echelle d'aptitude à l'épandage	41
Tableau 11 : Aptitudes à l'épandage des Unités de sols (1/50000 et 1/100000)	44
Tableau 12 : Aptitudes des sols à l'épandage	46
Tableau 13: Echelle d'aptitude à l'épandage.....	47
Tableau 14 : Points de prélèvement des analyses de sols.....	47
Tableau 15 : Texture générale des sols des parcelles d'épandage (granulométrie)	48
Tableau 16 : pH général des sols des parcelles d'épandage.....	49
Tableau 17 : Matière organique dans les sols des parcelles d'épandage.....	49
Tableau 18 : Eléments majeurs dans les sols des parcelles d'épandage.....	50
Tableau 19 : Eléments traces métalliques (ETM).....	50
Tableau 20 : Distances et délais minimaux de réalisation des épandages	51
Tableau 21 : Assolement sur les exploitations.....	55
Tableau 22 : calendrier d'épandage	58
Tableau 23 : Doses réglementaires et doses conseillées à l'automne pour le digestat solide .	59
Tableau 24 : Doses réglementaires et doses conseillées à l'automne pour le digestat liquide	60
Tableau 25 : Exportation des cultures	60
Tableau 26 : Doses conseillées au printemps pour le digestat solide	61
Tableau 27 : Doses conseillées au printemps pour le digestat liquide.....	62
Tableau 28 : Apports azotés, phosphorés, potassiques	64
Tableau 29 : Essai au lycée agricole du Chesnoy.....	74
Tableau 30 : Effets du niveau de concentration de l'ammoniac sur l'homme.....	75
Tableau 31 : Recommandations concernant les teneurs atmosphériques en ammoniac selon la durée d'exposition	76



Tableau 32 : Paramètres permettant la réduction des germes pathogènes.....	77
Tableau 33 : Teneurs en éléments traces métalliques des digestats en fonction de l'origine des déchets	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation générale de la zone d'étude (cercle en rouge)	13
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude.....	15
Figure 3 : Régions naturelles administratives du département du Loiret (Source : Chambre d'Agriculture du Loiret).....	16
Figure 4 : Répartition des précipitations sur le département du Loiret	17
Figure 5 : Histogrammes des températures et des précipitations à Ladon (Météo France)	19
Figure 6 : Formations géologiques du secteur d'études (Sources BRGM-IGN).....	21
Figure 7 : Schéma lithostratigraphique synthétique des formations de Beauce (Source : SIGES CENTRE – BRGM)	25
Figure 8: Piézométrie du système aquifère de Beauce – Basses eaux 1994 (Source : BRGM) .	27
Figure 9: Piézométrie forage BSS001AJMG situé à Villemoutiers (Source : ADES)	28
Figure 10: Piézométrie du système aquifère de la Craie du Crétacé du Bassin Parisien – 2011 (Source : BRGM)	28
Figure 11: Piézométrie forage BSS001ANXK situé à Chuelles (Source : ADES)	29
Figure 12: Plan de situation des parcelles, des zones de protections environnementales et d'inventaires.....	34
Figure 13 : Pendillards	53
Figure 14 : Epandeur à table	54
Figure 15 : Assolement sur les exploitations	56
Figure 16 : Effets de la fertilisation sur le vers de terre.....	71
Figure 17 : Effet du travail du sol (Source : Arvalis).....	72
Figure 18: Effet de la fertilisation sur les vers de terre	73
Figure 19 : Interactions biomasse microbienne et lombricienne.....	73



1. GENERALITES ET OBJET DU PRESENT DOSSIER

Le dossier a été rédigé par Sébastien BARON, *responsable de l'équipe Grandes Cultures - Fourrages* à la Chambre d'Agriculture du Loiret, avec l'appui de Loïs TAHON (*Hydrogéologue*), Ludivine CHATEVAIRE (*Conseiller Agro-Environnement / Pédologie*), et Hervé NEDELEC (*Pédologue/Cartographe certifié par l'Association Française pour l'Etude du sol*).

1.1. COORDONNEES DU PETITIONNAIRE

Société : SAS ENVO 45

Nom, Prénom du président : Alexandre BEETS

Adresse de la société : Les Trois Chapeaux 45220 SAINT GERMAIN DES PRÉS

Adresse du site en projet : Les Trois Chapeaux 45220 SAINT GERMAIN DES PRÉS

Interlocuteur technique : Alexandre BEETS

Mob : 06 43 05 49 66

Mail : alexandre.beets@gmail.com

N° SIRET : 847 793 387 00014

1.2. PRESENTATION DU PROJET

Le méthaniseur de la société SAS ENVO 45 sera implanté à SAINT GERMAIN DES PRÉS au lieu-dit « Les Trois Chapeaux » sur une parcelle actuellement cultivée.

Une unité de méthanisation est en activité à proximité immédiate du projet. En 2009, les gérants de la SCEA BEETS, éleveurs bovins et porcins sur le site « Les Trois Chapeaux », décident de construire une unité de méthanisation et fondent la SARL Agri Energie. Depuis cette date, l'unité fonctionne sans discontinuer avec des résultats techniques et économiques intéressants.

Grâce à ce recul, les gérants de la SCEA BEETS et trois nouveaux associés de la nouvelle génération, ont décidé de fonder la SAS ENVO 45 afin de construire une nouvelle unité de méthanisation.

Le gisement se compose majoritairement d'effluents d'élevage et de végétaux type cultures intermédiaires à vocation énergétique produites sur les exploitations inscrites dans le plan d'épandage de la SAS.

A noter qu'aucune boue de station d'épuration urbaine ne sera présente dans le gisement.



Le gisement prévu est présenté ci-après :

Tableau 1 : Gisement des matières entrantes

Matières entrantes	Origine	% dans le tonnage	Quantité (T)
Lisier porcin *	Exploitation agricole	9,6	2 156
Fumier bovin	Exploitation agricole	12,9	2 900
Effluents agro-alimentaires Sede	Gisement agro-industriel	14,3	3 200
Poussières céréales	Exploitation agricole	0,8	180
Ensilage céréales immatures (mélange avec seigle)	Exploitation agricole	41	9 200
Ensilage maïs	Exploitation agricole	2,1	467
Ensilage sorgho	Exploitation agricole	3,9	877
Paille	Exploitation agricole	2,9	660
Pulpe betteraves	Sucrerie	3,6	800
Eaux de process et pluviales souillées, eaux salle de traite **	Exploitation agricole	8,9	2 000
Total		100	22 440

Le gisement est de 61,5 t/j. En conséquence, l'unité sera soumise à enregistrement au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement sous la rubrique 2781 – 1 pour un gisement supérieur à 30 t/j mais inférieur à 100 t/j (arrêté du 12/08/2010 présenté en annexe 1).

Il n'est pas prévu de recirculation de digestat liquide. Les volumes d'eau qui seront intégrés au méthaniseur proviennent des jus des silos et de la plateforme de digestat solide.

Pendant le processus de digestion anaérobie, il y a production de méthane valorisé énergétiquement. Le gaz produit sera directement injecté dans le réseau de gaz naturel.

Les résidus non digérés forment le digestat brut. La qualité du produit final dépend de la composition des matières entrantes.

▪ **Digestat brut :**

Ce digestat brut sera séparé à l'aide d'un séparateur de phase de type presse à vis en un digestat liquide et un digestat solide. C'est un total de 15 700 t/an de digestat liquide et de 3 925 t/an de digestat solide qui seront épandus annuellement.



▪ **Phase liquide :**

Elle est à 7,5 % de MS, représente environ 70 % des volumes qui seront épandus. Un matériel adapté sera utilisé pour l'épandage : pendillards pour une bonne valorisation agronomique des éléments fertilisants (pas de formation d'aérosol donc moins de volatilisation).

C'est un produit riche en azote ammoniacal (70 % de l'azote total) qui sera donc épandu en limitant au maximum la volatilisation.

Tableau 2 : Caractéristiques des digestats liquides

Tonnage	15 700
Densité	1,00 t/m ³
MS	7,5 %
pH	8
C / N	6
N Total	3,3 kg/m ³
N ammoniacal	2,3 kg/m ³
P ₂ O ₅	2,5 kg/m ³
K ₂ O	5,0 kg/m ³

La valeur agronomique du digestat est fonction des produits entrants dans le mélange. En ce qui concerne l'azote ammoniacal, la source utilisée est le COMIFER 2013 qui fournit le coefficient d'équivalence engrais N des principaux produits résiduaux organiques.

▪ **Phase solide :**

Elle est à 30 % de MS avec pour partie une disponibilité de l'azote rapide (30 % d'azote ammoniacal sur l'azote total) et une autre partie plus lente pour la partie encore non minéralisée.

Tableau 3 : Caractéristiques des digestats solides

Tonnage	3 925 t
Densité	0,7 t/m ³
MS	30 %
pH	8
C / N	15
N Total	5,7 kg/t
N ammoniacal	1,7 kg/t
P ₂ O ₅	4,3 kg/t
K ₂ O	7,5 kg/t

La nature du produit permet une utilisation similaire à un compost (plutôt sec, se tenant en tas), et une meilleure homogénéisation lors des épandages du fait de la nature du digestat (matière brassée et homogénéisée dans le méthaniseur). Le matériel d'épandage permet une répartition optimale sur les parcelles (table d'épandage, débit proportionnel à l'avancement).



Contrairement au digestat liquide qui peut s'apparenter à un apport classique d'éléments minéraux, le digestat solide joue d'autres rôles grâce à une libération de l'azote sur du plus long terme et grâce aux apports de matière organique qui permettront une meilleure structuration du sol en apportant de l'humus aux sols.

Les épandages se substitueront partiellement aux épandages actuels de minéraux en étant intégrés aux plans de fertilisation prévisionnels. Le procédé de méthanisation permet une valorisation des déchets en agriculture et une économie pour les agriculteurs sur les éléments fertilisants chimiques. Les digestats présentent un intérêt agronomique non négligeable pour les agriculteurs. L'innocuité des digestats et leur valeur propre en matière fertilisante (éléments minéraux et matière organique) en font des sous-produits valorisables en agriculture.

La valorisation agricole est la voie de traitement des effluents organiques qui offre la meilleure garantie de pérennité. La mise en décharge et l'incinération ne sont pas justifiées économiquement ni environnementalement et peuvent servir simplement d'alternatives dans le cas d'une mauvaise qualité du digestat, ce qui est peu probable compte tenu des produits entrants (essentiellement agricoles).

1.3. LISTE DES EXPLOITATIONS APPARTENANT AU PROJET

Six des huit associés de la SAS sont agriculteurs et disposent de surfaces agricoles. Ces surfaces font partie du plan d'épandage de l'unité de méthanisation Agri –Energie et ne seront donc pas intégrés au plan d'épandage de la SAS ENVO 45. Au total, 27 entités juridiques voisines sont intégrées au plan d'épandage de la SAS ENVO 45 et disposent de 3 488,30 ha de surfaces agricoles permettant l'épandage du digestat.

Le but premier est de pouvoir rapporter l'équivalent de ce qui est exporté et limiter les achats d'azote organique et minéral extérieur. Les surfaces seront suffisantes, les exploitants pourront envisager d'augmenter leur pression en éléments organiques afin de diminuer la part d'engrais minéraux achetés. Cette dernière sera fonction des bilans agronomiques des parcelles, des risques de lessivage et des surfaces de cultures les plus aptes à recevoir le digestat.

Des conventions vont être établies entre la SAS et les agriculteurs (modèle de convention présent en annexe 2).

Les exploitations concernées par le plan d'épandage sont :

- EARL Yves Deniau (182,03 ha)
- Quantien Christophe (107 ha)
- EARL Cres (147,31 ha)
- Plassard Jean-Luc (110,85 ha)
- Decamp Mathieu (196,47 ha)
- EARL Demars (149,42 ha)
- EARL Les Reveillons (175,95 ha)
- EARL Les Ballus (127,98 ha)
- Riglet Bernard (73,83 ha)
- Riglet Julien (175,90 ha)
- Lacroix Patrick (67,28 ha)
- SARL Champ Donne (115,08 ha)
- Benezit Nicolas (90,10 ha)
- EARL Les Cerfs (135,58 ha)
- EARL Clément Jean Michel (65,09 ha)
- SCEA des Terres de la Forest (231,95 ha)
- EARL Philippe (103,95 ha)
- EARL Les Cossons (106,56 ha)
- EARL du Village (68,69 ha)
- Patillaut Christophe (233,60 ha)
- Patillaut Corentin (42,88 ha)
- EARL La Lingonniere (144,86 ha)
- Groeneweg David (50,77 ha)
- Doreau Christophe (170,16 ha)
- Bernard Arnaud (171,72 ha)
- Gibert Cédric (178,69 ha)
- Beets Maxence (64,6 ha)



Ces exploitations sont toutes orientées vers les cultures de céréales et d'oléoprotéagineux.

Cinq exploitations (EARL Clement Jean-Michel, EARL du Village, EARL des Cossons, Patillaut Christophe et Groeneweg David), disposant d'un parcellaire éloigné, ont simplement une partie de leurs surfaces d'intégrée à ce plan d'épandage ; ceci afin d'optimiser les épandages pour les parcelles les plus proches de l'unité. Une majorité des surfaces en jachère a également été exclue des surfaces inscrites au plan d'épandage.

2. LA PRESENTATION DU PLAN D'EPANDAGE

2.1. LA VALORISATION AGRONOMIQUE DES EFFLUENTS

Pour leur développement, les plantes puisent leur nourriture dans la solution du sol. Pour ne pas appauvrir le sol, ce prélèvement doit être compensé par un apport correspondant en éléments nutritifs. Les digestats contiennent naturellement les principaux éléments nutritifs dont les plantes ont besoin. Leur utilisation comme éléments fertilisants permet ainsi un excellent recyclage par le milieu sol/plante, le sol jouant ainsi un rôle épurateur.

La valorisation des digestats permet :

- une valorisation rapide par la culture,
- des économies d'azote minéral, de phosphore et de potasse,
- un enrichissement des sols en matière organique,
- un recyclage de l'effluent.

La fertilisation complète des cultures doit être équilibrée. Pour cela, il faut tenir compte des apports organiques, mais également des apports par les engrais minéraux. Un bilan de fertilisation azotée (organique et minérale) est réalisé sur l'ensemble des exploitations recevant des digestats. Il est le résultat des entrées et des sorties d'éléments fertilisants au niveau des parcelles :

➤ **Les entrées :**

- les apports de fertilisants organiques et minéraux des digestats,
- les apports minéraux apportés par les engrais,
- les apports organiques exogènes.

➤ **Les sorties :**

- les exportations par les cultures en fonction de leur rendement, la surface implantée et la valeur en éléments fertilisants par la culture (données du CORPEN et COMIFER).

2.2. LA METHODOLOGIE

L'objectif du plan d'épandage est de déterminer l'aptitude des sols à l'épandage et les possibilités d'épandage en fonction de l'assolement pour une fertilisation équilibrée.

Il s'agit de vérifier la faisabilité des épandages et de faire des propositions d'apports organiques et minéraux. Nous avons fait des choix de cultures réceptrices, doses à épandre, etc. qui respectent la réglementation et qui valorisent au mieux les digestats, mais qui n'en deviennent pas pour autant obligatoires. D'autres solutions peuvent être adaptées en fonction de l'année (météo), des modifications d'assolement, du matériel etc.



➤ **Les grandes étapes de l'élaboration du plan d'épandage sont :**

- détermination des surfaces épandables,
- application de la réglementation concernant les distances d'épandage,
- application de la réglementation concernant les zones de protection particulières (captage, protections environnementales),
- détermination des types de sols grâce à une typologie simplifiée des sols (valorisation de la carte des sols à 1/50 000^{ème} du Loiret et sondages à la tarière),
- détermination de leur aptitude à l'épandage,
- calcul des surfaces épandables en fonction de leur aptitude et de la réglementation.

➤ **Gestion des apports organiques et minéraux :**

- détermination de la quantité d'éléments fertilisants à épandre en fonction des besoins des cultures,
- calculs des pressions d'azote organique,
- élaboration des calendriers prévisionnels d'épandage,
- calculs des apports nécessaires en éléments fertilisants minéraux.

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

3.1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

3.1.1. Localisation géographique

Les parcelles du plan d'épandage sont localisées essentiellement à l'Est du département du Loiret, au sud-est de Montargis.



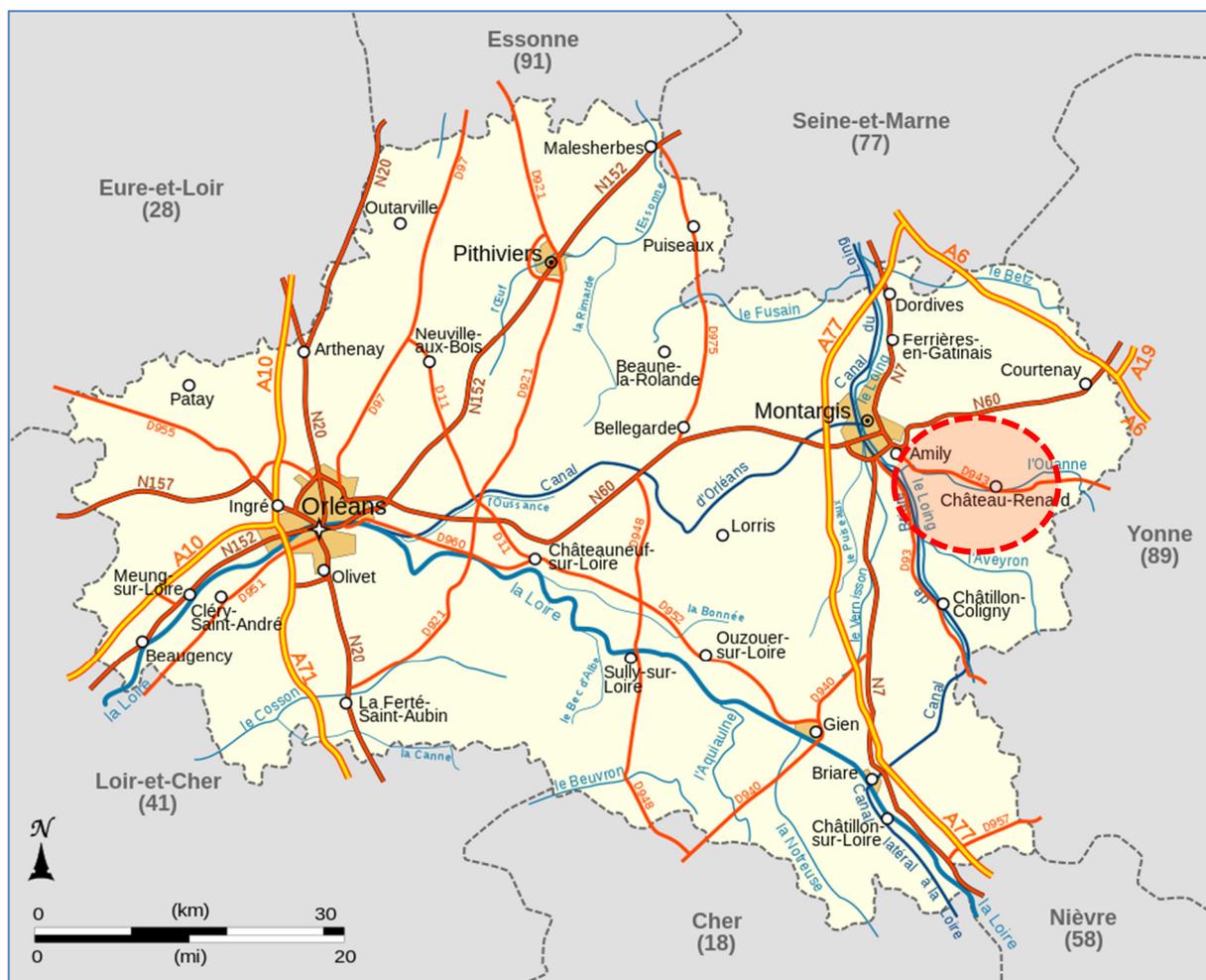


Figure 1 : Localisation générale de la zone d'étude (cercle en rouge)

La zone d'épandage est limitée géographiquement à l'Ouest par le Loing avec la présence tout de même en nombre limité de quelques parcelles à l'Ouest sur les communes de Montcresson, Montbouy et Amilly.

La majorité des parcelles d'épandage se situe au maximum dans un rayon de 12 km, les plus éloignées sont situées à 19 km.

Les surfaces inscrites au plan d'épandage (PE) sont situées sur 16 communes listées ci-après et toutes situées dans le département du Loiret.



Tableau 4 : Localisation des parcelles d'épandage

Commune	SAU (ha)	Surface épandable (ha)
AMILLY	337,08	305,30
CHATEAU RENARD	483,74	467,68
CHUELLES	65,74	63,16
CORTRAT	20,36	20,36
COURTEMAUX	50,77	47,77
DOUCHY MONTCORBON	112,72	102,37
GY LES NONAINS	403,76	390,10
LA CHAPELLE SAINT SEPULCRE	4,04	4,04
La CHAPELLE SUR AVEYRON	195,36	191,45
La SELLE EN HERMOY	146,21	142,32
MELLEROY	254,39	247,53
MONTBOUY	474,80	456,42
MONTCRESSON	274,27	249,84
SAINT FIRMIN DES BOIS	225,13	210,64
SAINT GERMAIN DES PRÉS	384,46	362,68
TRIGUÈRES	55,47	52,16
Total	3 488,30	3 313,82



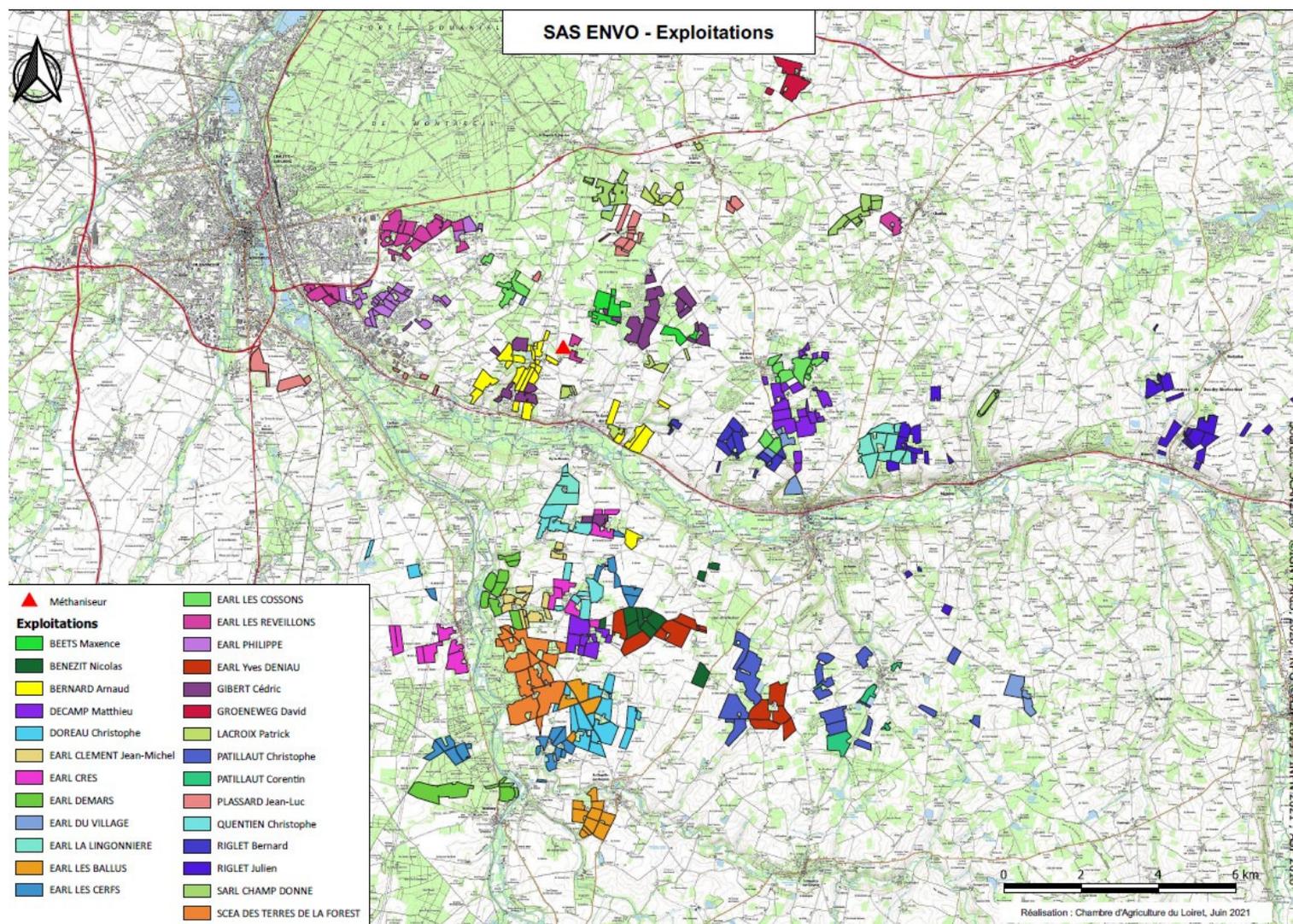


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude



3.1.2. Milieu naturel



Figure 3 : Régions naturelles administratives du département du Loiret
(Source : Chambre d'Agriculture du Loiret)

La figure 3 présente les 9 régions naturelles du Loiret ainsi que la localisation des parcelles concernées.

Les communes concernées sont localisées dans la région naturelle du **Gâtinais de l'Est**. Elle est coupée en deux, par la vallée du Loing qui est orientée sud-nord.

La partie occidentale du Gâtinais, voisine de la Beauce, s'étend sur un large plateau calcaire. Alors que sa partie orientale concernée par le projet, plus vallonnée, est constituée de sols crayeux recouverts par des formations argilo-sableuses à silex. Elle est caractérisée par une couverture boisée importante dont les parcelles, disséminées dans l'espace agricole

3.1.3. Topographie

Le périmètre d'étude est situé à l'Est du Loing, ce secteur est marqué par un relief vallonné.

Sur les communes du plan d'épandage, l'altitude moyenne est de 140 m. Elle varie entre 190 m NGF sur les communes de Douchy Montcorbon et Melleroy de part et d'autres de l'Ouanne, et 95 m NGF sur la commune d'Amilly dans la vallée du Loing.

Les pentes sont faibles à moyennes (1 à 3 %), et peuvent atteindre 15 % dans les vallées du Loing et de l'Ouanne.



3.2. CONTEXTE CLIMATOLOGIQUE

Le climat du département du Loiret est tempéré, de type océanique séquanien. Ce département présente un gradient de précipitations d'est en ouest. Ainsi, sur le secteur d'étude, le cumul annuel des précipitations peut varier entre 625 mm et 750 mm par an (figure 4).



Direction Interrégionale Ile-de-France, Centre
Division Climatologie
26, boulevard Jourdan 75014 Paris
Tel : 01 53 62 22 53 - Fax : 01 53 62 22 59

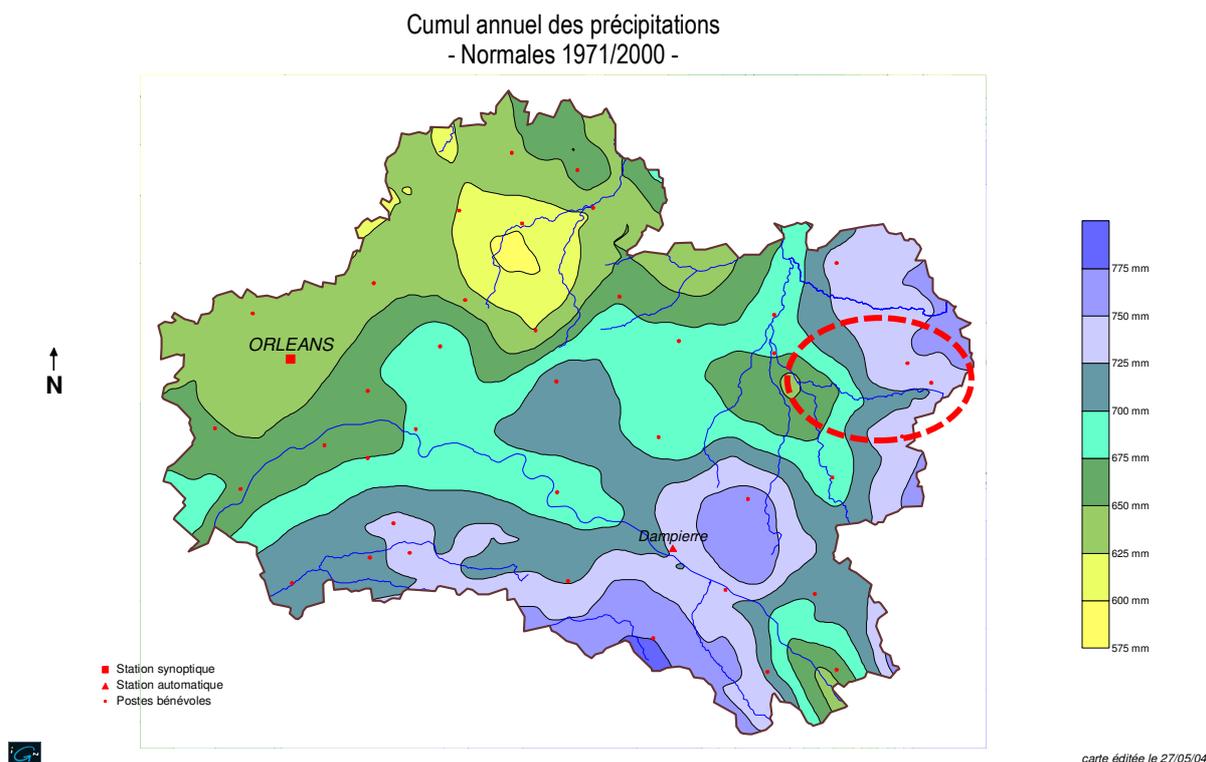


Figure 4 : Répartition des précipitations sur le département du Loiret

La station météorologique la plus proche prise comme référence pour les valeurs de températures et de précipitations est celle située à Ladon (Météo France). Les cumuls annuels de précipitations y atteignent 681 mm en moyenne sur la période 1981-2010. Les précipitations mensuelles les plus abondantes surviennent en mai, puis de septembre à décembre. Les précipitations mensuelles maximales ne sont pas extrêmes puisque les moyennes se situent autour de 57 mm par mois.

La station météorologique prise comme référence pour les valeurs d'évapotranspiration potentielle (ETP) ainsi que pour les phénomènes climatiques est celle située à Orléans-Bricy (Météo France).



Tableau 5 : Principales données climatiques et bilan de l'eau dans les sols

	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Année
Températures (degrés)	11,6	6,6	4,2	3,4	4,3	6,4	9,3	12,8	16,2	18,4	18	15,4	10,6
Précipitations (mm)	57	53	55	54	50	52	35	76	58	52	47	49	639
ETP PENMAM (mm) Bricy	35	13	9	10	20	49	78	105	120	136	110	73	758
Temp. minimale $\leq -0^\circ$ (jours)	1	7	12	14	12	10	4	-				-	60
Temp. minimale $\leq -10^\circ$ ((jours)			-	1	1	-							2,5
Temp. maximale $\leq -0^\circ$ (jours)		-	2,5	3	2	-							8
Neige (jours)		1	3	4	4	2	1						15
P - ETP (mm)	22	40	46	44	30	3	-43	-29	-62	-84	-63	-24	-119
Sols ayant une RU de 50 mm													
Réserve	22	50	50	50	50	50	7	0	0	0	0	0	
Déficit hydrique (mm)								-22	-62	-84	-63	-24	
Drainage interne (mm)		12	46	44	30	3							
Sols ayant une RU de 100 mm													
Réserve	22	62	100	100	100	100	57	28	0	0	0	0	
Déficit hydrique (mm)									-34	-84	-63	-24	
Drainage interne (mm)			8	44	30	3							

RU- Réserve Utile en eau du sol ETP - Evapo-Transpiration Potentielle

(Données issues de la station Météo France d'Orléans-Bricy et Montargis pour la pluie - moyenne trentenaire)

Le climat est doux et tempéré, le nombre de jours de gel est faible (61 jours par an). Les risques de fortes gelées ($< -5^\circ\text{C}$) sont limités à 11 jours par an, parmi lesquels 1 à 2 jours par an marqués par des températures inférieures à -10°C (Figure 6 page suivante). Ces périodes de gel interviennent principalement l'hiver. Le nombre moyen de jours de neige est de 12 par an.

Les précipitations sont relativement bien réparties tout au long de l'année. On enregistre en moyenne 7 à 12 jours de précipitations (≥ 1 mm) par mois, pour un total de 118 jours de précipitations (≥ 1 mm) par an, dont 46 jours par an caractérisés par des précipitations supérieures à 5 mm et 17 jours par an marqués par des précipitations supérieures à 10 mm.

Le bilan de l'eau dans les sols fait apparaître une recharge de la réserve en fin d'année, à partir du mois d'octobre. Un drainage interne des sols intervient ensuite plus ou moins précocement en fonction du réservoir utilisable en eau des sols (RU), sur une période :

- pouvant s'étendre de novembre à mars pour les sols les plus superficiels,
- restreinte à janvier-février pour les sols les plus profonds.



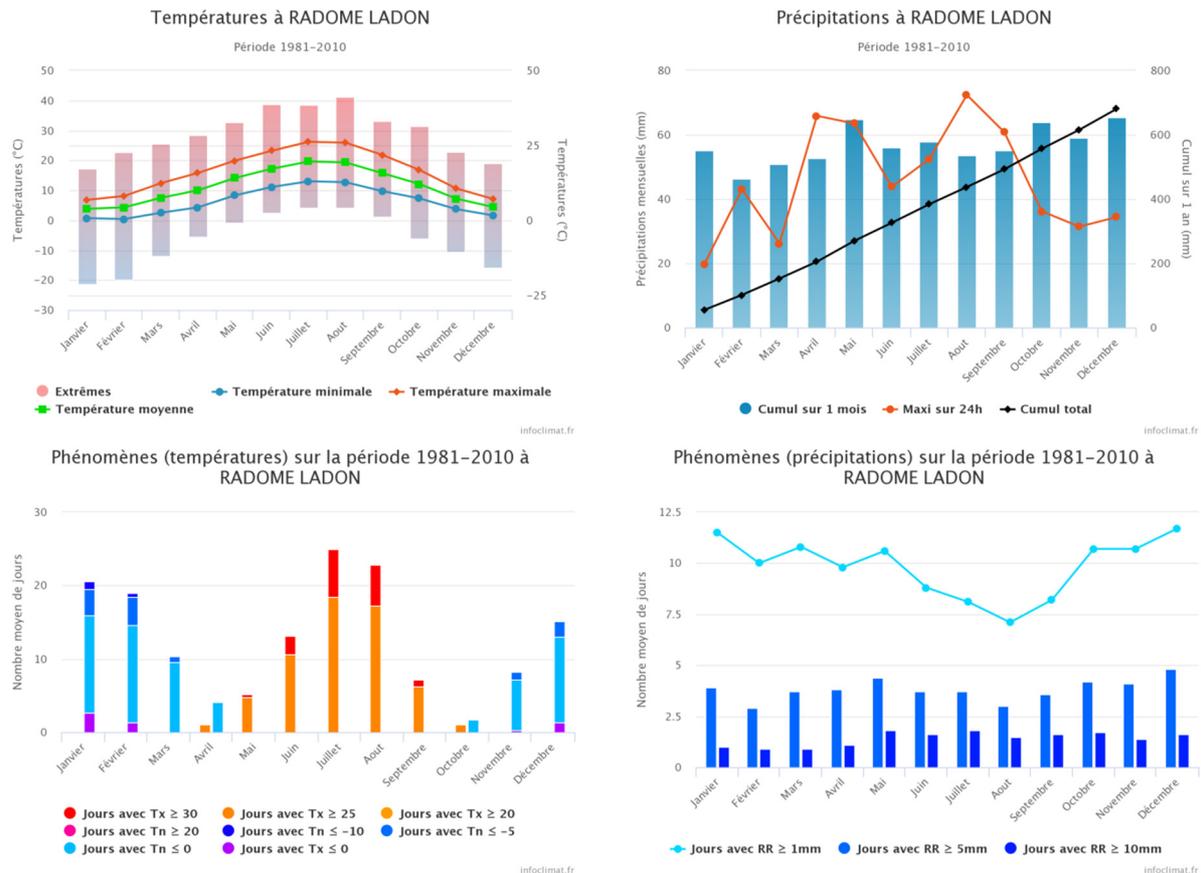


Figure 5 : Histogrammes des températures et des précipitations à Ladon (Météo France)

3.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

3.3.1. Contexte général

Les parcelles d'épandage se situent sur le même secteur géographique. Ce contexte a pu être défini grâce aux cartes géologiques de Montargis (n° 365) de Chatillon-Coligny (n° 400) réalisées par le BRGM et de leurs notices associées. L'histoire géologique du secteur peut être résumée comme suit :

Les montagnes hercyniennes ayant été pénéplanées, une subsidence prolongée et très lente a conduit à la formation du Bassin Parisien et permis à la mer de recouvrir la région au cours des différents cycles transgressifs/régressifs. Les longues périodes de transgression du Jurassique et du Crétacé a permis d'accumuler près de 2 000 m d'épaisseur de sédiment. Au cours du Crétacé supérieur, qui affleure par endroit, les dépôts ont surtout été calcaires (calcaires organogènes, craies et castines avec du silex). La sédimentation du Crétacé s'est achevée par un placage argileux à silex très mince et sporadique sur la région étudiée.

Depuis la fin de l'ère Secondaire et le passage à l'ère Tertiaire, la région a été soumise à un régime continental avec l'alternance de phase de dépôt sédimentaire et d'érosion avec des régimes fluviaux et lacustres. Les terrains tertiaires sont en général peu épais dans le département, sauf dans la partie orientale de la forêt d'Orléans où leur épaisseur atteint une centaine de mètre.

Les formations datées de l'Eocène et probablement du Paléocène proviennent du remaniement des formations du Crétacé sous-jacent et plus particulièrement de ses silex. L'érosion du Massif Central permet également un apport de fragments cristallins.



La mise en place d'un climat chaud et humide sur la région favorise l'altération superficielle des terrains et permet la réalisation de silicification et un enrichissement des formations de cet âge en argile (Kaolinite principalement).

A l'Eocène inférieur (Sparnacien), les fleuves s'écoulant depuis Massif central déposèrent des dépôts détritiques faits de sables et d'argiles. A l'Eocène moyen (Lutétien), un climat chaud à précipitations aussi fortes qu'irrégulières s'est mis en place sur cette partie du Bassin Parisien.

Vers la limite entre Eocène-Oligocène un régime lacustre se met en place dans les parties à l'écart des grands courants fluviaux. Ainsi dans les zones de courant les dépôts sont riches en alluvions siliceux et hors de ces zones les dépôts sont des carbonates purs, à l'interface de ces deux milieux se déposent des formations en mélange. Le relief était certainement très faible, les lacs très peu profonds et le niveau eustatique variable. De manière synchrone se sont produit des déformations tectoniques Nord-Sud permettant un rajeunissement des reliefs, augmentant l'érosion de ceux-ci. Cela a aussi eu comme effet de canaliser la pré-Loire dans la zone que nous connaissons actuellement.

A l'Aquitaniens le régime lacustre et palustre s'est déplacé vers l'Ouest : il s'agira de l'époque des calcaires de Beauce. La région considérée se situe au Sud de ce grand ensemble et ces dépôts n'y seront que très peu observables. Il sera plutôt question de formations issues d'un mélange de carbonates lacustres et d'alluvions siliceux fluviaux (molasses).

A partir du Burdigalien une période où les vallées principales se figent avec l'enfoncement des réseaux hydrographiques et la dissection des formations sous-jacentes se met en place, isolant ainsi les principaux plateaux. Au Villafranchien la Pré-Loire gagnait le Loing actuel pour se jeter dans la Seine. Dès le début du Quaternaire, son cours supérieur, capté entre Gien et Briare par un affluent du Cher, a été détourné vers l'Atlantique, donnant expression à son cours actuel.

L'encaissement des vallées s'est fait ensuite progressivement au cours du Quaternaire sous l'influence des variations climatiques (alternances des périodes glaciaires) qui ont entraînés ici des conditions péri-glaciaires. Les formations superficielles, limons des plateaux, cailloutis cryoclastiques, colluvions de versants, etc., doivent aussi l'essentiel de leur genèse à ces périodes froides et spécialement à la dernière, le Würm.



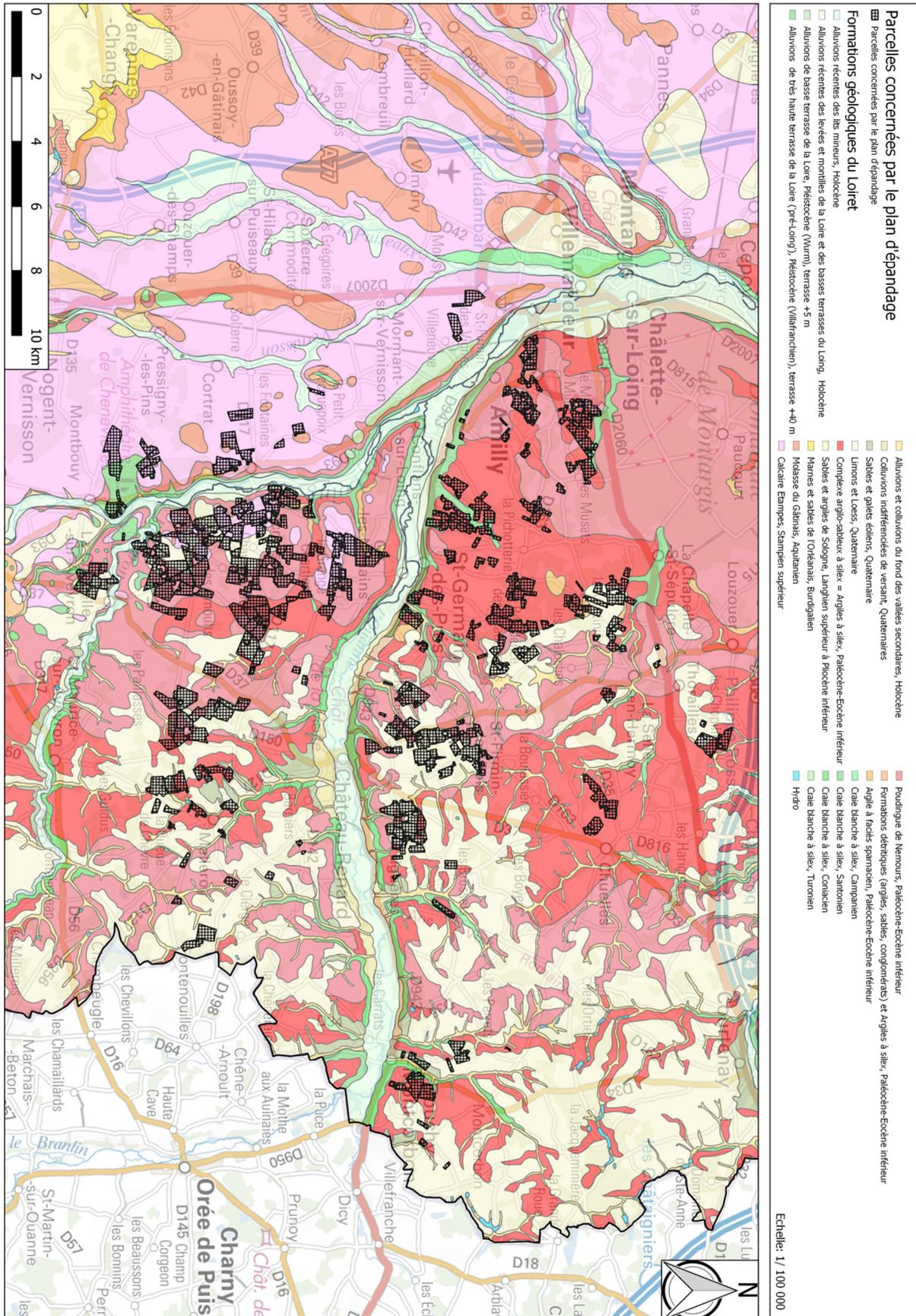


Figure 6 : Formations géologiques du secteur d'études (Sources BRGM-IGN)



3.3.2. Contexte local

Les formations géologiques suivantes ont été identifiées sur le secteur d'étude (figure 6). Celles-ci seront en grande partie responsables des sols qui en ont émergés par le long processus de la pédogénèse. Les formations les plus présentes sur la zone d'étude sont des formations d'âge tertiaires et quaternaires.

CRETACE :

- ***C1 – C6Cr : Craie blanche à silex, Cénomaniens à Sénoniens***

Cette série crayeuse qui n'est reconnue que sur différents sondages sur le secteur d'études comporte en partie supérieure un ensemble de craie blanche à silex plus ou moins abondant, la matrice est parfois légèrement argileuse, dont l'âge est comprise entre le Turonien et le Sénonien (Coniacien, Santonien, Campanien). Cet ensemble s'est développé sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Les craies Turono-Sénonienne affleurent particulièrement dans la vallée du Loing à la faveur de faille et de l'anticlinal de Château Renard. Un horizon repère, le toit des craies marneuses du Cénomaniens est représenté à - 200 m dans la fosse de Pithiviers et est remonté à - 100 m vers Courtenay.

La partie supérieure de la craie, quel que soit son âge, subit une induration par calcitisation et silicification. Cette induration localement nommée « Castine », donne un calcaire dur autrefois exploité comme matériau de construction. Cette induration se rapporte à la continentalisation finicrétacé.

En dessous de la formation Séno-Turonienne, la formation du Cénomaniens est caractérisée par une craie marneuse dont l'épaisseur n'est pas précisée mais sans doute inférieure à 100 mètres. La différence entre les terrains du Cénomaniens et du Turonien ne peut être faite directement à l'œil nu, la datation des horizons est donc effectuée à l'aide de fossiles caractéristiques de ces âges.

TERTIAIRE :

- ***e1-4 : Formations détritiques éocènes (Argiles, sables, conglomérats) et altération à silex (Argiles à silex), Paléocène-Eocène inférieur.***

Il s'agit d'une formation composée de formations d'altération liées à la période de continentalisation post-crétacée. Il s'agit d'argiles, de sables, conglomérats, grès et poudingues siliceux reposant généralement sur les argiles à silex issues de la décalcification de la Craie (profil d'altération de type latéritique). A l'affleurement ces dépôts ont été généralement perturbés postérieurement à leurs dépôts et se retrouvent mélangés par des mécanismes de ruissellement, solifluxion, de reprise alluviale,... Pour ces raisons, l'âge de la formation varie depuis l'époque de l'altération de la craie (Paléocène) et doit tenir compte des remaniements successifs, Yprésien pour une large part mais aussi Miocènes, Pliocènes et Quaternaire. Pour faire simple, seules les périodes de libération des éléments détritiques ont été retenues ainsi que celle du dépôt principal. Un âge compréhensif, Paléocène à Eocène inférieur leur est attribué.

Dans le Gâtinaiens Pauvre (Châlette sur Loing - Ferrières), des épandages détritiques éocènes d'origine fluviatile sont localement connus sous les appellations de formation à Chailles, formations à silex, et chailles roulées, Poudingues de Gien. Il s'agit de graves roulées d'une granulométrie comprise entre 60 et 150 mm dans une gangue de de granularité irrégulière à dominante argileuse ou argilo-sableuse. Les surfaces couvertes sont vastes et les épaisseurs varient de 10 à 20 m.



A l'Est de la vallée du Loing, Château Renard et Courtenay, les dépôts sont très complexes et reflètent une forte influence des reprises fluviatile Éocène. Selon la composition sont distingués un complexe argilo-sableux à silex anguleux, un complexe argilo-sableux à silex et chailles, un complexe argilo-sableux à silex type « Argiles rouges à silex » et un complexe argilo-sableux à silex et galets type « Nemours ». Sur la vallée du Loing, au-dessus des argiles à Silex, les conglomérats type Nemours sont plus largement développés.

▪ ***g1Cet : Calcaire d'Etampes, Oligocène, Stampien supérieur :***

Le calcaire d'Etampes appelé également calcaire du Gâtinais dans le Loiret, affleure principalement sur la partie Est du bassin de Beauce, sensiblement jusqu'à la vallée du Loing. Sur l'Ouest de la zone d'étude il transgresse sur les calcaires Éocène puis les formations détritiques Éocène. La formation s'étend en profondeur sous les dépôts Miocène. Au Nord il couvre la partie Ouest de l'Île de France et vers l'Ouest et le Sud, il se développe sur l'ensemble de la Beauce et de la Sologne.

L'épaisseur maximale de cette formation est d'une cinquantaine de mètres sur le secteur de Corbeilles (Gâtinais). En bordure Est, sur le secteur d'étude l'épaisseur est moindre, cela étant principalement lié à l'érosion et au rejeu des failles d'axe Nord-Sud.

La base de la formation est constituée généralement par des marnes blanches ou vertes, sableuses. Les parties moyennes et supérieures sont composées de calcaires durs ou tendres, grumeleux, bréchiques, pisolithiques, siliceux, à intercalation de meulière, de marnes et parfois d'argiles. La teneur moyenne en carbonate est voisine de 80 %.

▪ ***m1Mga : Molasse du Gâtinais, Aquitainien (Miocène).***

Le terme Molasse correspond à un terme ancien désignant un sédiment en partie carbonaté et en partie détritique. En Gâtinais, le lieu d'affleurement et de définition initiale de la formation, le faciès se traduit par un mélange de sables fins à grossiers, d'argiles et de marnes. La formation affleure sur la bordure Nord-Est de Nogent sur Vernisson ou l'épaisseur reste assez faible avec une épaisseur de l'ordre de 10 à 15 mètres.

Ce niveau est d'une importance forte puisque sa présence permet de délimiter le Calcaire de Pithiviers terme sommital et le Calcaire d'Etampes terme basal des calcaires de Beauce. Les marnes et argiles qui la composent assurent un rôle de couche imperméable entre les deux niveaux calcaires aquifères majeurs du plateau de Beauce.

QUATERNAIRE :

▪ ***qOE : Limons et Lœss, Quaternaire :***

Les limons des Plateaux recouvrent d'un placage discontinu l'ensemble du territoire de l'étude d'une épaisseur variant de quelques décimètres à 2 mètres. Cette formation est notée LP lorsque sa puissance excède 0,5 m. L'importance de ces limons est en grande partie en domaine agricole, ils sont cependant peu perméables lorsque la dominante est argileuse et nécessite alors d'être drainés.

Une manifestation éolienne plus importante correspond au développement des limons sur les plateaux. Le caractère lœssique est attesté par la présence d'une granulométrie à dominance de silt bien que des constituants plus grossiers puissent y être incorporés soit en placage de cailloux cryoclastiques en base de profil, soit sous forme de cailloutis et de sables colluvionnés.

Il faut retenir que la nature du dépôt reflète le substratum direct. Les Lœss sont argilo-carbonatés sur un substrat calcaire alors qu'ils ne le sont pas sur un substratum de l'Éocène ou sur les argiles à silex.



Ce sont souvent des Lœss anciens affectés par une pédogénèse prononcée. Cette altération a pour conséquence la décarbonatation partielle ou totale des lœss développées sur substrat calcaire, l'enrichissement en argiles de type smectite et l'enrichissement en hydroxydes de fer (limons brun-rouge). Les limons dans le cadre de la carte harmonisée du Loiret ne sont pas représentés sur les formations fluviatiles car probablement difficiles à différencier des sols argileux développés sur des limons en partie alluviaux.

▪ **CF: Colluvions et alluvions de vallons, Holocène :**

Les vallées secondaires et vallons montrent un lit alluvial dont le remplissage, peu épais, correspond au remaniement des matériaux du bassin versant proche. Le colluvionnement à partir des versants et le transfert alluvial longitudinal en fond de vallon sont difficilement dissociables, certains contours englobent des dépôts mixtes. Une appellation composite leur est donnée : C pour colluvions de versant, F pour alluvions.

Les matériaux sont argileux à cailloux de calcaire et de meulière sur les formations lacustres, argilo-sableux sur les formations détritiques et argileuses à cailloux de silex sur les formations crétacées et leurs altérites.

▪ **Fu: Sables et graviers, alluvions de très haute terrasse, Pléistocène (Villafranchien), Terrasse + 40m :**

Il s'agit d'une surface culminante en Sologne avec une altitude de + 160 m NGF en amont et + 120 m NGF en aval. Cette terrasse enregistre une activité tectonique importante. Cette terrasse est alimentée par des apports de type torrentiels mais aussi par des apports du Sancerrois qui traduisent une surrection importante de la partie Sud-Est du Bassin Versant Solognot.

Cette terrasse garde au niveau de Briare une capture temporaire de l'écoulement de la Loire vers la Seine via le Loing. Cet événement est la conséquence d'une surrection de l'anticlinal du Loing passant entre Gien et Briare. La dérivation de la Loire vers le Nord a laissé une terrasse caractéristique de cette formation jusque vers Chatillon Coligny.

▪ **Fu: Alluvions récentes des levés et montilles de la Loire et des basses terrasses du Loing, Holocène :**

La plaine alluviale ou lit majeur ou lit majeur montre des zones élevées en basse terrasse a + 3 ou - 3 m. Les alluvions Fz et Fy sont distinguées par la morphologie et en particulier par la différence d'altitude. Elles se mettent en place de manière synchrone par le jeu des crues et la migration des méandres. Les dépôts correspondent à des accumulations alluviales développées en fortes eaux ou crues sous forme de cordons sableux, de bourrelets sableux de débordement et, plus à l'écart de limons de débordement.

Les alluvions du Loing, sur la zone d'étude, sont constituées par des graves siliceuses peu sableuses. Elles sont recouvertes de limons argileux récents. Les matériaux sablo-graveleux ont fait l'objet d'une exploitation en carrière noyées. Ce matériel n'est identifié qu'à l'aval de Montcresson, à partir d'Amilly. En amont les données de forage n'indiquent que la présence d'alluvions argileuses, il en est de même pour les principaux affluents tels que l'Ouanne. L'épaisseur du matériel alluvionnaire varie entre 3,5 et 7,7m selon les sondages réalisés.

▪ **Fz : Alluvions récentes des lits mineurs, Holocène :**

Les cours récents et actuels, les plus bas en altitude correspondent aux lits mineurs, ils sont individualisés en Fz. Ces cours sont actifs en permanence ou de façon temporaire lors des crues de moyenne amplitude. Les matériaux déposés sont en général grossiers et sablo-graveleux. Dans la vallée du Loing, l'épaisseur de cette formation n'excède pas 6m.



3.4. HYDROGEOLOGIE

3.4.1. Aquifères en présence

Au vu du contexte géologique, les aquifères en présence sont les suivants :

- Calcaire d'Etampes ou du Gâtinais,
- Éocène et formations à silex,
- Craie du Crétacé.

La dénomination « nappe de Beauce » englobe les calcaires de l'Orléanais, marnes de Blamont, calcaires de Pithiviers et d'Etampes séparés par la molasse du Gâtinais.

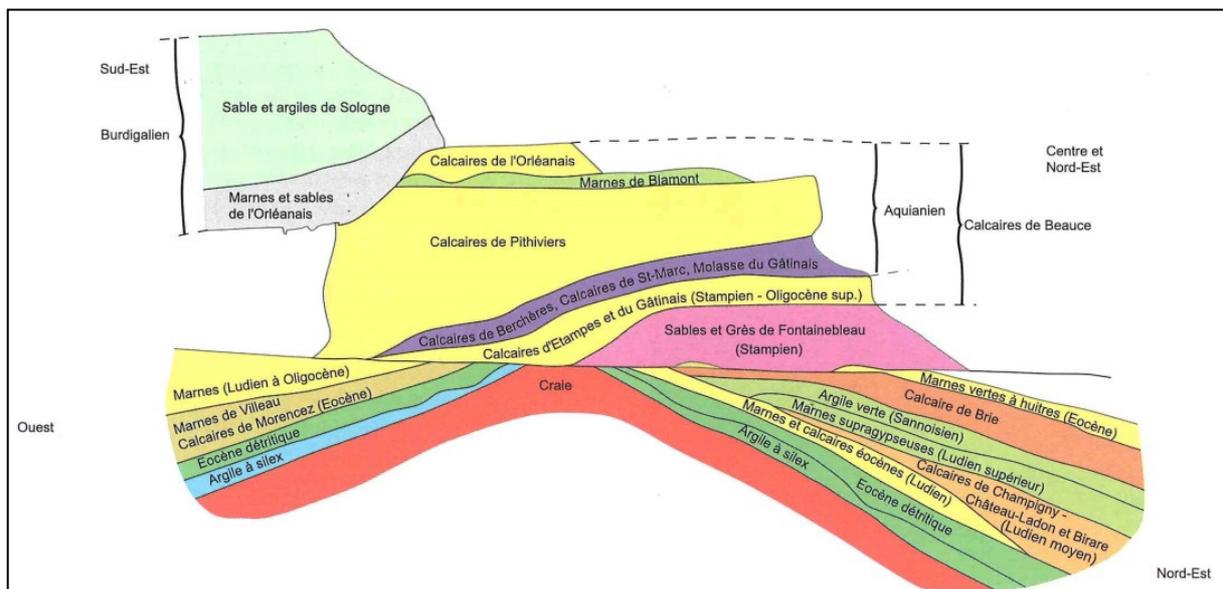


Figure 7 : Schéma lithostratigraphique synthétique des formations de Beauce
(Source : SIGES CENTRE – BRGM)

Au droit de la zone concernée, la nappe de Beauce est matérialisée en grande partie par la formation du Calcaire d'Etampes à l'affleurement ou sub-affleurant ou sous recouvrement local par la Molasse du Gâtinais. Sur l'axe Nogent-Villemandeur à la faveur d'une faille inverse les formations crétacées ont été mises à l'affleurement.

▪ Nappe des Calcaires d'Etampes

Une grande partie de la surface de la zone d'étude concerne le calcaire d'Etampes. Cette formation carbonatée intensément fissurée et karstifiée a permis la mise en place d'une nappe d'eau souterraine continue comprise dans la « nappe de Beauce ». Le calcaire d'Etampes constitue la partie inférieure du système aquifère de la nappe de Beauce.

La nappe étant sub-affleurante, elle est assez sensible vis-à-vis des pollutions diffuses provenant du lessivage des sols. Sa puissance est de l'ordre de 15 à 20 m et elle est observée soit à l'affleurement (souvent sous couverture des Limons de Plateaux peu épais) mais aussi sous recouvrement des Marnes de Blamont d'une épaisseur maximale de 5 m.



L'aquifère des calcaires d'Etampes est largement libre en rive Gauche du Loing là où il s'est développé et peut-être localement captif sous la Molasse du Gâtinais.

La productivité de l'aquifère est bonne et est donc utilisée pour l'irrigation. Autrefois utilisée pour l'alimentation en eau potable, la sensibilité aux pollutions diffuses a causé un progressif abandon de cette ressource.

La cote piézométrique s'établit autour de 110 m NGF avec des variations annuelles et pluriannuelles importantes (de l'ordre de plurimétrique) puisque la recharge de l'aquifère se fait au travers de la pluie efficace tombant sur le plateau en automne et en hiver. Suivant les conditions climatiques, cette nappe peut se retrouver dénoyée.

- **Éocène et formations à silex**

Cet aquifère est très superficiel. Sa lithologie très argileuse et la faible épaisseur de ce réservoir ne permet pas une bonne exploitation de cette nappe sur le secteur d'étude. La présence de cet aquifère local est donnée pour mémoire.

- **Nappe de la Craie du Séno-Turonien**

Cet aquifère d'extension régionale est principalement présent en rive droite du Loing. On distinguera la craie située dans les vallées ou sur les plateaux. Dans les vallées, la craie affleure au niveau des différentes rivières, sa productivité est faible.

Sur les plateaux, la nappe sous recouvrement des argiles à silex est captive. La productivité des ouvrages sollicitant cette nappe est aléatoire, cela dépend du degré de marne de la craie ainsi que de la fracturation de celle-ci. La productivité de l'aquifère est variable (0.2 à 100 m³/h/m) avec une bonne qualité. Sa transmissivité est de l'ordre de 10⁻³ à 10⁻⁵ m²/s et son coefficient d'emménagement est évalué à 10⁻³.

La nappe se raccorde un important réseau souterrain dans le pays de Craie, à l'Est du Loing et où les gouffres sont en nombre considérable, certains se transformant facilement en puits permanents. Ils sont d'ailleurs généralement inondés en hiver. C'est un riche réseau karstique, débouchant sur le Loing.

On remarque également, lié à ce même phénomène, que les eaux sont en général assez turbides, surtout après une période pluvieuse, traduisant les mauvaises conditions de filtration et l'importance du ruissellement et de l'infiltration des eaux de surface à travers la couverture tertiaire dans les diaclases de la partie non saturée de l'aquifère. Le débit des sources captées est souvent supérieur à 50 m³/h.

3.4.2. Description des complexes aquifères

Il a pu être identifié deux complexes aquifères majeurs d'extension régionale. Il s'agit de deux aquifères distincts mais continus répondant en partie aux lois d'écoulement de Darcy. Leurs écoulements respectifs peuvent ainsi être caractérisés par des différences de gradients hydrauliques déterminés par des mesures piézométriques sur différents forages (piézomètres, puits, forages agricoles). Il s'agit des nappes des calcaires d'Etampes et la nappe de la Craie du Séno-Turonien, cette dernière nappe est également présente sous les formations tertiaires et quaternaires.



3.4.2.1. AQUIFERE TERTIAIRE DE BEAUCE

A titre général, la nappe de la Beauce s'écoule vers le bassin de la Seine ou vers celui de la Loire. La crête piézométrique se situe sensiblement sous la bordure Nord de la forêt d'Orléans et remonte très au Nord, au Sud de Rambouillet. Ces observations peuvent être effectuées sur la carte piézométrique en basses eaux de 1994 réalisée par le BRGM.

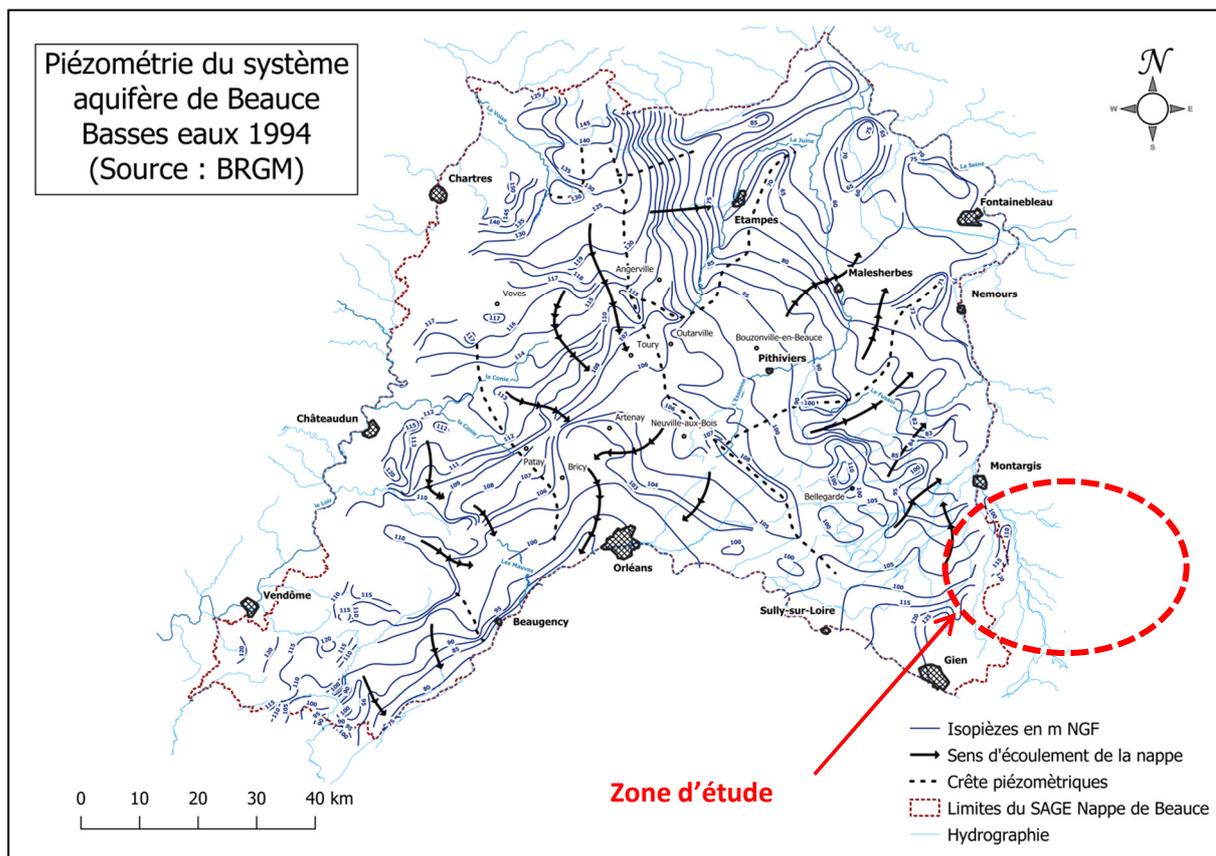


Figure 8: Piézométrie du système aquifère de Beauce – Basses eaux 1994 (Source : BRGM)

La zone d'étude intègre cette nappe pour une faible partie dans la zone drainée par le Loing. Les écoulements ont une direction Sud-Ouest / Nord-Est et se font en direction du Loing qui draine naturellement la nappe. Le gradient piézométrique de la nappe est ici très faible de l'ordre de 1‰.

Ci-dessous est représenté la chronique piézométrique de la nappe de Beauce entre 1994 et aujourd'hui, à Villemoutiers (Les Brosses). Cette chronique montre tout d'abord des variations pluriannuelles fortes avec une différence maximale de quelques mètres. Puis, étant en présence d'une nappe libre, on note très clairement les variations saisonnières : recharge en hiver et vidange en été, les variations saisonnières varient entre 1 m et 3 m.

Sinon, s'agissant des variations récentes, après avoir atteint un niveau assez bas en été 2012. Il est observé une forte recharge durant les hivers 2012-2013, 2013-2014, printemps 2016, hiver 2020 avec alternances de faibles vidanges avant 2015 et en 2016 et fortes vidanges en 2015, 2017 à 2020.



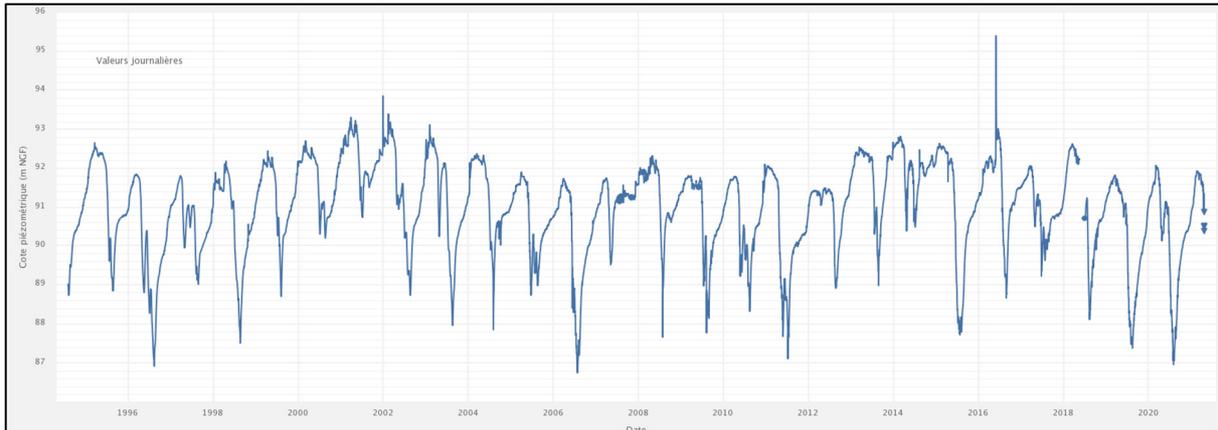


Figure 9: Piézométrie forage BSS001AJMG situé à Villemoutiers (Source : ADES)

3.4.2.2. AQUIFERE DE LA CRAIE SENO-TURONIENNE

La connaissance de la piézométrie de la Craie du Crétacé est assez bien maîtrisée sur le secteur d'étude, elle est présente à l'est du Loing. Les écoulements s'effectuent de manière Est-Ouest en direction du Loing, et des axes de drainage secondaire correspondant au réseau hydrographique (Ouanne, Aveyron, Cléry, Betz, ...) de ses affluents qui drainent naturellement la nappe.

Ces observations peuvent être effectuées à partir de la carte piézométrique de cette ressource, établie en 2011, sur l'ensemble du bassin parisien par le BRGM.

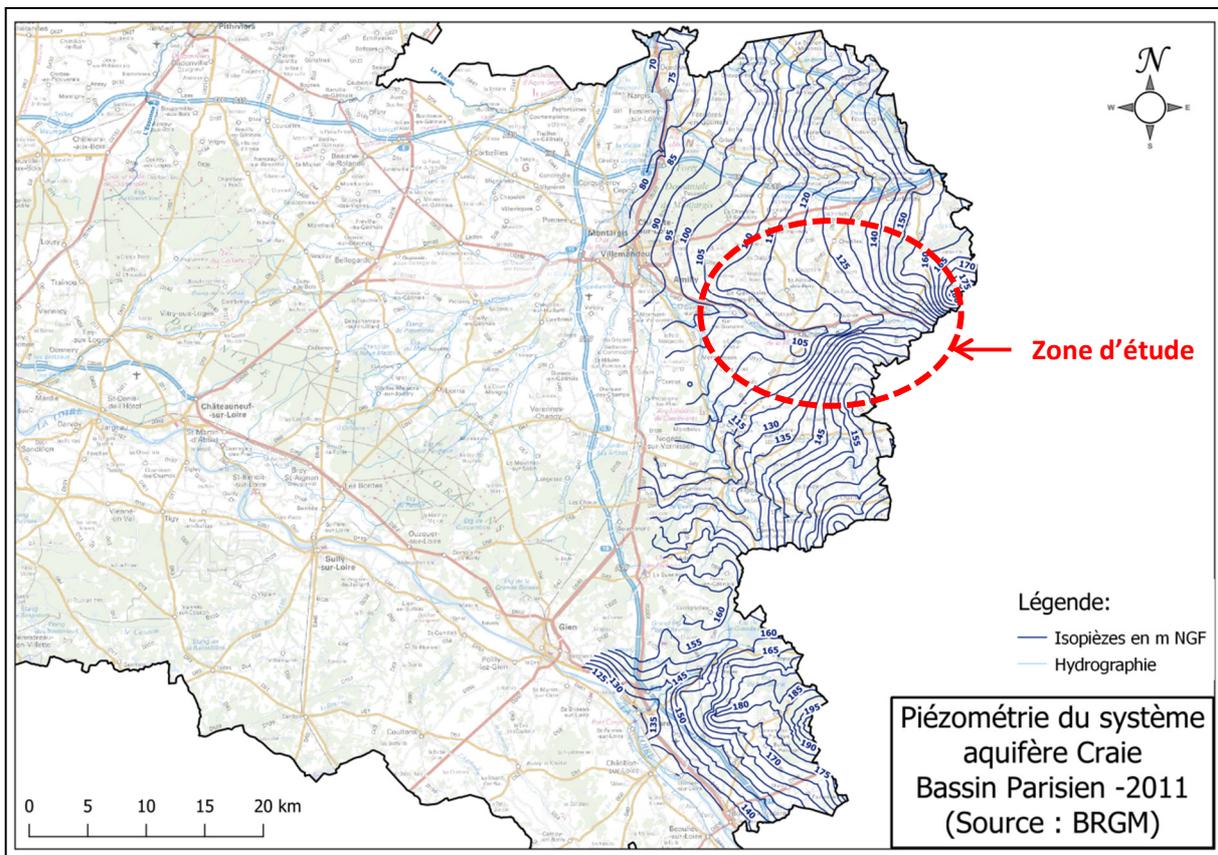


Figure 10: Piézométrie du système aquifère de la Craie du Crétacé du Bassin Parisien – 2011 (Source : BRGM)

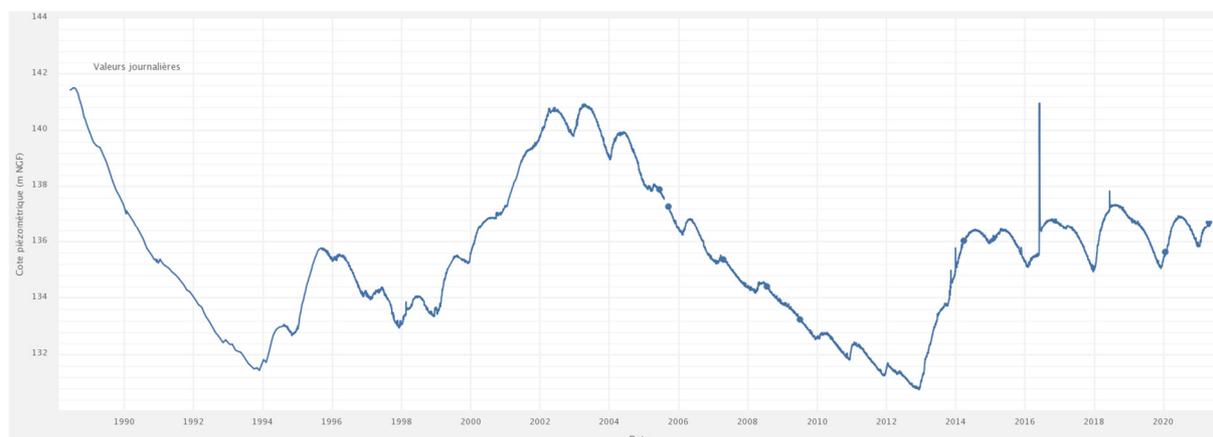


Le gradient piézométrique de la nappe est ici de l'ordre de 5 ‰ en rive Est du Loing. Les principales directions d'écoulement et les gradients hydrauliques sont variables en fonction de la perméabilité mais aussi de la structure du réservoir.

L'influence de la fracturation est d'ailleurs très importante puisque la nappe de la craie est drainée par un réseau karstique en relation avec les grands accidents structuraux qui apparaissent comme des axes de drainage privilégiés: on peut en effet remarquer que les sources de la vallée de l'Aveyron, de l'Ouanne et de la Cléry sont alignées suivant des directions N-S superposées aux failles subméridiennes et que les plus grosses sources de cette région sont effectivement à l'intersection des vallées (où la craie sous-alluviale est très diaclasée) et des zones faillées (Pradurat, 1981).

Ci-dessous est représentée la chronique piézométrique au niveau de Chuelles (Les Grands buissons) de la nappe de la Craie entre 1988 et aujourd'hui. Cette chronique montre des variations pluriannuelles avec une différence maximale de quelques mètres. Puis, étant en présence d'une nappe libre, on note des variations saisonnières : recharge en hiver et vidange en été, les variations saisonnières varient entre 1 et 3 m.

Sinon, s'agissant des variations récentes, après avoir atteint un niveau assez bas en été 2012. Il est observé une forte recharge durant l'hiver 2012-2013, printemps 2016, les hivers 2018, 2020 et 2021 avec des vidanges régulières en période d'étiage. Le fonctionnement de la nappe semblait être pluriannuel entre 1998 et 2004, avec des périodes de recharge et de vidange couplé à une recharge globale sur plusieurs années. Il est donc possible d'observer sur la chronique quatre grands cycles de recharge et de vidanges pluriannuels, entre 1988 et 1994, entre 1994 et 1998, entre 1998 et 2013 puis entre 2013 et aujourd'hui.



La nappe de la craie est très utilisée là où elle est productive, elle subvient aux besoins en eau potable des communes situées sur la zone d'étude et se trouve aussi, depuis quelques années, utilisée pour l'irrigation agricole.

3.4.2.3. EAU POTABLE

Les captages AEP de la zone d'étude sont implantés dans les premiers niveaux crayeux situés sous un niveau peu perméable d'argile à silex. Seul le captage de Montbouy capte la nappe des sables de l'Albien.

Des périmètres de protection de captage sont établis autour des sites de captages d'eau destinée à la consommation humaine, en vue d'assurer la préservation de la ressource. L'objectif est ici de réduire les risques de pollutions ponctuelles et accidentelles de la ressource sur ces points précis.

Ces périmètres de protection de captage sont définis dans le code de la santé publique (*article L-1321-2*). Ils ont été rendus obligatoires pour tous les ouvrages de prélèvement d'eau d'alimentation depuis la loi sur l'eau du 03 janvier 1992. Ce type de procédure comporte trois niveaux avec des degrés de protection différents établis à partir d'études hydrogéologiques et définis par des hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique :

- **le Périmètre de Protection Immédiate PPI,**
- **le Périmètre de Protection Rapprochée PPR,**
- **le Périmètre de Protection Eloignée PPE.**

Cette protection est donc une obligation réglementaire et est applicable à toutes les eaux destinées à l'alimentation humaine. Ainsi, les captages AEP de la zone d'étude et de ses alentours sont dotés de périmètres de protection.

Sur les 16 communes concernées par l'implantation du projet et les parcelles d'épandage, 7 possèdent un captage ou des périmètres de protection de la ressource en eau. Ils sont répertoriés dans le tableau et la cartographie qui suivent.

Au sein de ces PPR, les arrêtés préfectoraux permettent l'épandage agricole sous certaines conditions. Les épandages de digestats restent donc possibles sur ces parcelles sous réserve qu'ils soient réalisés en conformité avec la réglementation en vigueur.

Toutefois, afin de limiter au maximum les risques de transferts d'éléments vers les eaux souterraines, seul l'épandage du digestat solide sera réalisé sur les parcelles au sein des PPR. Ils seront réalisés uniquement au printemps avant l'implantation de culture de printemps à une dose maximum de 20 t MB/ha ou avant l'implantation des colzas à une dose maximum de 15 t/ha.



Tableau 6 : Caractéristiques des captages AEP et de leurs périmètres de protection respectifs

Captage	Commune	Code SISE	BSS	Avis hydro. agréé	Date DUP	Prescription du PPR	Parcelles épanables au sein du PPR	Prescription du PPE	Parcelles épanables au sein du PPE
CHISE 2 et 3	Amilly	045000003 045000004	03653X0016 03653X0150	01/04/2010	11/07/2014	- Interdiction d'épandage de boues de stations d'épuration sous forme liquide, de lisiers et de fientes de volailles, - Interdiction de stockage aux champs de matières fermentescibles et de produits fertilisants.	Non	Aucune prescription sur l'épandage	Oui
ERABLE 1 et 2	CHÂTEAU RENARD	045000078 045001021	03665X0039 03665X0138	20/02/1995	18/03/1997	- l'épandage de lisier, de boues de station et d'eaux usées	Oui	Les pratiques agricoles devront se rapprocher du cadre des bonnes pratiques. Il sera également réalisé un suivi des pratiques agricoles, afin de limiter les risques de fuites des nitrates et des produits phytosanitaires	Oui
La METAIRIE	DOUCHY MONTCORBON	045000112	03666X0019	10/04/2010	27/02/2013	- L'épandage de fumier, lisier, boues de stations d'épuration, de toutes natures, ou de matières de vidange	Non	Ce périmètre correspond au BAC de la source de la Métairie. Etant classé captage Grenelle, il sera mise en place des mesures agroenvironnementales permettant de limiter les intrants d'origine agricole, communales ou particuliers.	Oui
BEL AIR	MONTBOUY	045000196	04004X0132	01/09/1991	02/04/1197	- tous dépôts d'ordures, ou de produit chimique	Oui	Aucune prescription sur l'épandage	Oui
Source ARMENAUULT	MONTCRESSON	045000197	03658X0006	01/01/2008	/	Rapport de 2008 : - l'épandage de boues de station d'épuration sous forme liquide et de lisiers	Oui	Rapport de 2008 La gestion de la fertilisation et des traitements en allant vers leur réduction	Oui



**PLAN D'ÉPANDAGE
SAS ENVO 45**

Captage	Commune	Code SISE	BSS	Avis hydro. agréé	Date DUP	Prescription du PPR	Parcelles épanchables au sein du PPR	Prescription du PPE	Parcelles épanchables au sein du PPE
Sources des 3 FONTAINES F1, F2, F3 et F4	La SELLE SUR LE BIED	045001110	03661X0070	02/10/1982	25/03/1988	- Les dépôts et déversements dans le sol ou sous-sol de toutes substances susceptibles d'apporter à la nappe des éléments indésirables sous forme solide, liquide ou soluble	Oui	- l'épandage ou l'infiltration des lisiers et d'eaux usées d'origine domestique ou industrielle, les rejets et assainissements individuels, - le stockage et l'épandage de tous produits ou substances destinés à la lutte contre les ennemis des cultures	Oui
		045001111	03661X0216						
		045001529	03661X0282						
		045001530	03661X0283						
TRIGUERES LIVERNAIS	TRIGUERES	045000322	03666X0020	01/05/1997	26/04/1999	- les dépôts ou stockages [...] agricoles (fumiers, purins, déchets fermentescibles) - les puisards et rejets d'eaux usées, lisiers, matières de vidange et boues de station d'épuration ... - l'épandage d'eaux usées, de lisiers, matières de vidange et boues de stations d'épuration	Oui	Aucune prescription sur l'épandage	Oui
PUITS DE L'ABÎME	PAUCOURT	045000242	03654X0006	11/02/1983	22/09/1988	- Les dépôts et déversements dans le sol ou sous-sol de toutes substances susceptibles d'apporter à la nappe des éléments indésirables sous forme solide, liquide ou soluble	Oui	Aucune prescription sur l'épandage	Oui (identique au PPR)



Les îlots situés dans des PPR sont détaillés ci-dessous :

- PPR des forages « Erable » à Château Renard : l'îlot n° 4 (en partie) de Nicolas Benezit
- PPR du forage « La Metairie » à Douchy Montcorbon : l'îlot n° 23 (en partie) de l'EURL Demars, les parcelles sont en jachères.
- PPR du captage « Source Armenault » à Montcresson : les îlots n° 9, 10, 12 à 15, 17 à 20 et 22 à 25 de la SCEA des Terres de la Forest, et n° 14 et 16 de Matthieu Decamp.
- PPR des captages « Sources des 3 fontaines » à La Selle sur le Bied : l'îlot n° 22 de David Groeneweg est inclus dans le PPR.
- PPR du forage « Triguères Livernais » à Triguères : les îlots n° 5, 6, 11 et 12 de Julien Riglet sont inclus dans le PPR.
- PPR du forage « Puits de l'Abîme » à Paucourt : les îlots 3 et 5 de PLASSARD Jean-Luc, les îlots 1, 2, 4 et 12 de la SARL Champ Donne et les îlots 14 à 18 et 20 à 22 sont inclus dans le PPR.



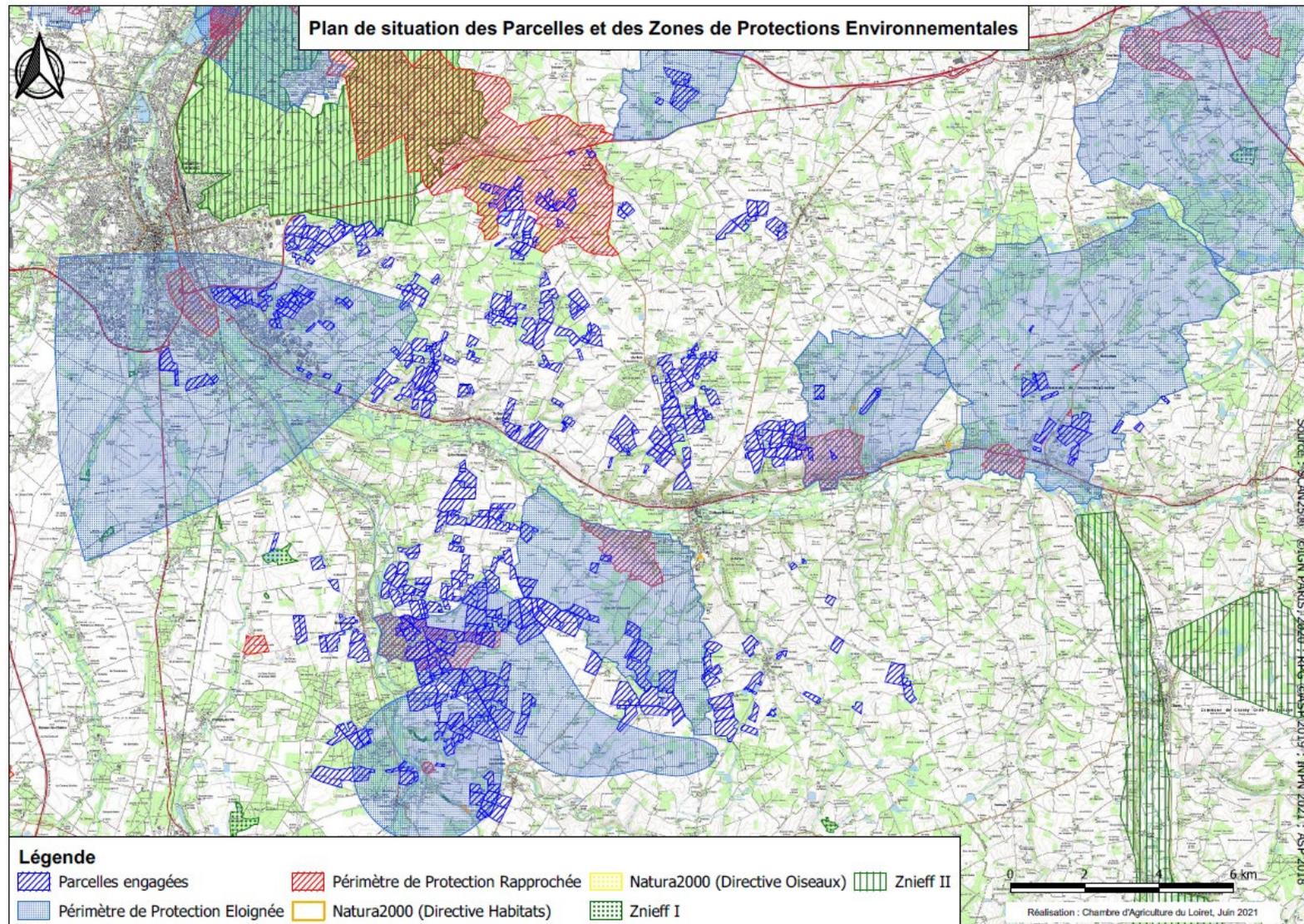


Figure 12: Plan de situation des parcelles, des zones de protections environnementales et d'inventaires



3.5. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

3.5.1. Hydrographie

Le réseau hydrographique est constitué par le Loing, drainé par la nappe de la craie, et par ses principaux affluents de la rive droite : l'Ouanne, La Clery et l'Aveyron. Ces derniers sont alimentés par de nombreux rus et ruisseaux qui prennent leur source au droit des terrains argilo-siliceux propice au ruissellement de surface.

Les principales masses d'eau identifiées sur les communes du plan d'épandage, et situées à moins d'un kilomètre d'îlots sont présentées et décrites dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7 : Recensement des masses d'eau sur les communes d'épandage

Type de masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Communes	Distance relative par rapport aux parcelles d'épandage
Cours d'eau	<i>Le Loing</i>	Amilly ; La Chapelle sur Aveyron ; Montbouy	Immédiate
	<i>Canal de Briare</i>		Immédiate
	<i>L'Aveyron</i>		Immédiate
	<i>L'Ouanne</i>	Château Renard ; Douchy Montcorbon ; Gy les Nonains ; Saint Germain des Prés ; Triguères	Immédiate
	<i>Fausse Rivière</i>		Immédiate
	<i>La Galissone</i>	Amilly ; Saint Germain des Prés	490 m au sud
	<i>Le Vernisson</i>	Amilly ; Cortrat	800 m à l'Ouest
	<i>Ru des Légers</i>	La Chapelle sur Aveyron	200 m au sud
	<i>Ru Simon</i>	La Chapelle sur Aveyron ; Montbouy	120 m à l'est
	<i>Ru des Vaubracons</i>	Château Renard	540 m au sud-ouest
	<i>Ru de Glanderelle</i>		Immédiate
	<i>Ru du Pont Guinant</i>	Château Renard ; Saint Firmin des Bois	Immédiate
	<i>Ru de la Fontaine Montcorbon</i>	Douchy Montcorbon	Immédiate
	<i>Ru de la Fontaine des Pauts</i>		90 m à l'ouest
	<i>Ru de l'Ordon</i>	Melleroy	60 m au nord
	<i>Ru des Botteaux</i>		65 m au nord
	<i>Ru des Cailleries</i>		60 m au nord-est
	<i>Ru de Dorlot</i>		40 m à l'ouest
	<i>Ruisseau de la Perche</i>	Saint Germain des Prés	315 m au sud
	<i>Ru du Francillon</i>		50 m à l'ouest
<i>Ru de la Dardenne</i>	Triguères	Immédiate	



Type de masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Communes	Distance relative par rapport aux parcelles d'épandage
	<i>Ru des Etoits</i>		600 m à l'ouest
Étang	<i>Etang de Marsain</i>	Montcresson	Immédiate

D'autres masses d'eau, de type étang ou fossés, non nommées se trouvent à proximité des parcelles d'épandage, mais les distances d'épandage seront respectées. L'épandage sur l'ensemble des parcelles présentes à proximité des cours d'eau sera fait à plus de 35 m hormis si une bande boisée ou enherbée de plus de 10 m est présente auquel cas l'épandage pourra se faire à 10 m. Les mêmes mesures ont été prises pour l'ensemble des masses d'eau.

3.5.2. Hydrologie

Le Loing présente des fluctuations saisonnières de débit marquées, avec des hautes eaux d'hiver -- début de printemps, avec une moyenne maximale en février : 3,99 m³/s, et des basses eaux d'été - début d'automne, amenant une baisse du débit moyen mensuel à 1,3 m³/s au mois de septembre. Mais ces moyennes mensuelles cachent des fluctuations encore plus prononcées sur de courtes périodes ou selon les années.

L'hydrologie des principaux cours d'eau de la zone d'étude sont détaillées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Données hydrologiques des principaux cours d'eau du secteur
(Source : Banque Hydro)

Nom de la station	Code station	Période de mesure	Bassin versant (km ²)	Module (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/km ²)	QMNA ₅ (m ³ /s)
Le Loing à Montbouy	H3021010	1980-2021	409	2,02	4,93	0,13
L'Ouanne à Gy les Nonains	H3122020	1969-2021	883	4,89	5,53	0,97
L'Aveyron à La Chapelle sur Aveyron	H3023211	1980 - 2021	99	0,48	4,84	0,052

Module : débit moyen interannuel,

Débit spécifique : débit moyen interannuel, ramené à la surface de bassin exprimé,

QMNA₅ : débit moyen mensuel sec ou débit mensuel minimal, de période de retour de 5 ans



3.6. CONFORMITE AUX SDAGE

3.6.1.1. GENERALITES

L'objectif d'un SDAGE est d'atteindre, de façon pragmatique sur l'ensemble du bassin, un bon état des eaux. Pour une meilleure organisation et lisibilité du SDAGE, les enjeux de la gestion équilibrée de la ressource en eau sont traduits sous forme de défis et de leviers transversaux. Ces derniers constituent les orientations fondamentales du SDAGE pour une gestion équilibrée de la ressource en eau et permettant d'atteindre les objectifs environnementaux.

« Cette gestion vise la préservation des milieux aquatiques et la protection du patrimoine piscicole et prend en compte les adaptations aux changements climatiques ».

Les parcelles d'épandage sont toutes situées sur le territoire du SDAGE Seine-Normandie.

3.6.1.2. SDAGE SEINE NORMANDIE 2009-2015

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) est un document de planification dans le domaine de l'eau. Il définit, pour une période de six ans, les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs de qualité et de quantité des eaux à atteindre dans le bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Il est établi en application des articles L.212-1 et suivants du code de l'environnement.

L'objectif est d'atteindre, de façon pragmatique sur l'ensemble du bassin, un bon état, voire un très bon état des eaux, qu'elles soient douces, saumâtres ou salées, superficielles ou souterraines, de transition ou côtières.

Pour une meilleure organisation et lisibilité du SDAGE, les enjeux de la gestion équilibrée de la ressource en eau sont traduits sous forme de défis. Ces derniers constituent les orientations fondamentales du SDAGE pour une gestion équilibrée de la ressource en eau en vue d'atteindre les objectifs fixés.

Par décision du tribunal administratif de Paris datée du 19 décembre 2018, l'arrêté du 1^{er} décembre 2015 approuvant le contenu du SDAGE 2016-2021 et son programme de mesure a été annulé. Le SDAGE à prendre en compte est donc la version précédente (2010-2015).

Les grands défis et leviers identifiés dans le SDAGE sont les suivants :

1. Diminuer les pollutions ponctuelles des milieux par les polluants classiques,
2. Diminuer les pollutions diffuses des milieux aquatiques,
3. Réduire les pollutions des milieux aquatiques par les substances dangereuses,
4. Réduire les pollutions microbiologiques des milieux,
5. Protéger les captages d'eau pour l'alimentation en eau potable actuelle et future,
6. Protéger et restaurer les milieux aquatiques et humides,
7. Gestion de la rareté de la ressource en eau,
8. Limiter et prévenir le risque d'inondation,

Levier 1 : Acquérir et partager les connaissances pour relever les défis,

Levier 2 : Développer la gouvernance et l'analyse économique pour relever les défis.



Ces défis et leviers sont déclinés en orientations et dispositions. Les dispositions font partie intégrante des orientations auxquelles elles sont rattachées :

Les chapitres correspondants aux épandages d'effluents agricoles dans le cadre du Seine Normandie sont les suivants :

■ **Défi 2 – Disposition 9 : Réduire la pression de fertilisation dans les zones vulnérables pour atteindre les objectifs du SDAGE**

Les porteurs de projet ne sont pas directement impliqués dans la révision des programmes d'actions de la Directive Nitrates. Ils devront veiller à respecter la réglementation au fur et à mesure de leurs mises à jour. L'enjeu du secteur est de limiter le lessivage des nitrates vers la nappe de la craie du Sénonien. Une attention particulière devra être portée sur le bon pilotage de l'azote sur les cultures.

Les apports de fertilisants organiques seront réalisés au plus proche des besoins des cultures en accord avec les doses et les périodes d'épandage du 6^{ème} programme d'action de la directive nitrate.

■ **Défi 5 - Disposition 40 : Mettre en œuvre un programme d'action adapté pour protéger ou reconquérir la qualité de l'eau captée pour l'alimentation en eau potable**

Les rapports hydrogéologiques des captages et leur arrêté de Déclaration d'Utilité Publique ont été consultés en préalable à la réalisation du plan d'épandage. Le référencement des captages se trouve dans la partie suivante.

Les doses d'apports, les dates et le type de produits épandus se feront dans le respect de ces derniers et du 6^{ème} programme d'action de la directive nitrate.

3.6.2. Conformité au SAGE Nappe de Beauce et milieux aquatiques associés

Sur les 16 communes du plan d'épandage, trois sont situées dans l'emprise du SAGE Nappe de Beauce et milieux aquatiques associés. Les îlots n° 24 de l'EARL Demars, n° 18 de l'EARL des Cerfs et l'îlot n° 5 (en partie) de l'EARL Cres sont concernés.

La Nappe de Beauce est divisée en zones de gestion dont les parcelles de la zone d'étude appartiennent au Montargois. L'enjeu de préservation de la ressource en eau est l'objectif principal du SAGE.

L'épandage des digestats est en conformité avec l'action 8 du SAGE Nappe de Beauce qui définit cette action ainsi : Promotion et valorisation des effluents agricoles, industriels et domestiques.

La valorisation agronomique des digestats permettra de limiter les consommations d'engrais minéral. Comme c'est le cas pour le SDAGE, le respect du programme d'action de la Directive Nitrates et une bonne gestion des épandages iront dans le sens des objectifs du SAGE.



3.7. ZONES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALES ET D'INVENTAIRES

3.7.1. Définition de ces zones

3.7.1.1. LES ZNIEFF

Les ZNIEFF sont des zones d'inventaires dans lesquelles existe un patrimoine naturel remarquable. Cependant, ces zones d'inventaires ne constituent pas elles-mêmes des zones de protections, elles ne sont sujettes à aucune réglementation. Il existe deux types de ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique) :

- **ZNIEFF de type I** : secteurs délimités caractérisés par leur intérêt biologique remarquable ;
- **ZNIEFF de type II** : grands ensembles naturels riches et peu modifiés ou qui offrent des potentialités biologiques importantes.

3.7.1.2. NATURA 2000

L'Union Européenne a adopté deux directives, l'une en 1979, l'autre en 1992 pour donner aux Etats membres un cadre commun d'intervention en faveur de la préservation des milieux naturels.

La directive du 2 avril 1979 dite directive "Oiseaux" prévoit la protection des habitats nécessaires à la reproduction et à la survie d'espèces d'oiseaux considérées comme rares ou menacées à l'échelle de l'Europe.

Dans chaque pays de l'Union européenne seront classés en Zone de Protection Spéciale (ZPS) les sites les plus adaptés à la conservation des habitats de ces espèces en tenant compte de leur nombre et de leur superficie. Pour déterminer ces sites, un inventaire a été réalisé, dénommé ZICO, Zones d'Importance pour la Conservation des Oiseaux.

La directive du 21 mai 1992 dite directive "Habitats" promet la conservation des habitats naturels de la faune et de la flore sauvage. Elle prévoit la création d'un réseau écologique européen de Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Parmi les milieux naturels cités par la directive : habitats d'eau douce, landes et fourrés tempérés, maquis, formations herbacées, tourbières, habitats rocheux et grottes, dunes continentales... Actuellement, les sites pressentis ont été transmis à la Commission. Ils sont alors appelés PSIC (Propositions de Sites d'Intérêt Communautaire). Après désignation formelle par la Commission et la France, ils deviendront des ZSC.

Sur la base des observations scientifiques, la directive a permis la création du réseau "Natura 2000". Cette appellation générique regroupe l'ensemble des espaces désignés en application des directives "Oiseaux" et "Habitats". Natura 2000 a pour objectif de maintenir la diversité biologique des milieux en tenant compte des exigences économiques, sociales, culturelles et régionales qui s'y attachent.



3.7.2. Recensement des sites environnementaux

Les sites environnementaux ont été recensés sur et à proximité des communes du plan d'épandage. Ils sont listés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Recensement des zones de protection environnementales

Type	Identifiant	Nom	Communes	Distance relative par rapport aux parcelles d'épandage les plus proches
SITE NATURA 2000 DIRECTIVE HABITATS	FR2402006	Sites à chauves-souris de l'est du Loiret	Château Renard ; Douchy Montcorbon ; La Chapelle sur Aveyron ; Triguères	160 m de l'îlot n° 11 de la SARL Champ Donne
ZNIEFF I	240031699	Prairie humide du Puiseaux	Amilly	710 m de l'îlot n° 37 de Jean-Luc Plassard
	240000544	Etang de Marsin	Cortrat	En bordure de l'îlot n° 17 de Christophe Doreau
	240030484	Pelouse de la Glandee	Cortrat	800 m de l'îlot n°5 de l'EARL Cres
	240031334	Mouillère des Charpentiers	La Selle en Hermoy	870 m de l'îlot n° 2 de Jean-Luc Plassard
	240030766	Bois et ancienne marnière du moulin	La Selle sur le Bied	2 700 m de l'îlot n°14 de David Groeneweg
	240031332	Mouillère des Carcas	La Selle sur le Bied	4 750 m de l'îlot n°22 de David Groeneweg
	240030474	Chênaie-charmaie des Pertuiseaux	Montbouy	175 m de l'îlot n°11 de l'EARL des Cerfs
	240030572	Pelouses des lorrains	Montbouy	560 m de l'îlot n°1 de l'EARL des Ballus
ZNIEFF II	240003882	Foret de Montargis	Amilly ; La Chapelle Saint Sépulcre ; La Selle sur le Bied	En bordure des îlots n° 10, 24 et 25 de l'EARL des Reveillons ; n° 18 et 30 de l'EARL Philippe
	260014921	Vallée de L'Ouanne de Toucy a Dicy	Charny Oree de Puisaye	1 300 m de l'îlot n° 30 de Julien Riglet

Les sites à chauves-souris de l'est du Loiret, classés en Natura 2000, sont peu éloignés de parcelles d'épandage, et concernent un ensemble de cavités souterraines correspondant pour la plupart à d'anciennes marnières, donc l'impact des épandages sur cette zone est nul.

Les ZNIEFF, quant à elles, concernent des zones boisées ou des points d'eaux. L'îlot n° 17 de Christophe DOREAU est situé en bordure de la ZNIEFF I Étang de Marsin, une distance de 35 m sera respectée vis à vis des cours d'eau.

Le descriptif des sites les plus proches sont présents en annexe 3.



3.8. ZONES VULNERABLES

Les parcelles d'épandage se trouvent toutes dans la zone vulnérable du Loiret définie dans le cadre de la Directive Nitrates. Les prescriptions du sixième programme d'action de la Directive Nitrates s'y appliqueront.

Les grands principes de la zone vulnérable seront appliqués pour limiter le lessivage et valoriser au mieux le produit épandu.

Il sera réalisé des CIPAN et/ou des CIVES avant culture de printemps notamment dans le cas d'épandage à l'automne. Les dates et doses d'apport de la zone vulnérable y seront appliquées. Le sixième programme d'action impose notamment des limites de date et de tonnages par hectare pour les épandages de matières organiques à l'automne (annexe 4).

Les épandages sont raisonnés, respectent les distances réglementaires vis à vis des cours d'eau, et se font aux périodes les plus propices avec des doses par hectare raisonnées. L'absence de pentes et donc de ruissellements, le respect des distances d'épandage et l'implantation d'une bande enherbée de 5 m minimum le long des cours d'eau vont dans le sens d'une diminution des risques d'eutrophisation.

4. LES SOLS

4.1. GENERALITES

L'étude a pour objectif de déterminer l'aptitude des sols à l'épandage et les périodes les plus favorables à cet épandage. Nous nous référons à une typologie simplifiée des sols utilisée lors des campagnes de conseils de fertilisation azotée "Azote Mieux".

Les aptitudes des sols sont déterminées en fonction des critères suivants :

- la texture,
- la profondeur d'apparition de la couche imperméable,
- la nature de la couche imperméable,
- l'hydromorphie.

Nous avons regroupé les sols dans une typologie simplifiée que nous utilisons dans les plans d'épandages. La typologie complète est présente en annexe 5. Cette typologie permet de classer les sols selon leur sensibilité au lessivage comme mentionné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Echelle d'aptitude à l'épandage

Sensibilité au lessivage	Aptitude à l'épandage
Peu sensible 3	Bonne
Moyennement sensible 2	Moyenne en automne hiver Bonne au printemps
Sensible 1	Faible en automne hiver Bonne au printemps

a : labour d'automne obligatoire - p : labour de printemps possible



4.2. DESCRIPTIONS DES SOLS

Les sols présents au sein du plan d'épandage sont répartis sur le Gâtinais de l'Est et le nord de la Puisaye. Nous retrouvons la typologie simplifiée ci-dessous. La détermination des types de sols est issue des cartes pédologiques 1/50 000 de Montargis (Eimberk *et al.*, INRA-CA45, 1992), 1/100 000 de la feuille d'Auxerre, partie Loiret uniquement (Richer de Forges *et al.*, INRA Infosol, 2005), et du Référentiel Régional Pédologique de la Région Centre, carte des pédopaysages du Loiret, 1/250 000 (Richer de Forges *et al.*, INRA Infosol, 2008).

Gâtinais de l'Est

GE1 Sols lessivés, limono-argileux, plus ou moins hydromorphes.

Sol à texture limono-argileuse en surface, s'enrichissant en argile en profondeur
Peu sensible au lessivage. Leur aptitude à l'épandage est bonne 3a

GE2 Sols lessivés, limons battants, plus ou moins hydromorphes.

Sol à texture limoneuse en surface, s'enrichissant en argile en profondeur.
Peu sensible au lessivage. Leur aptitude à l'épandage est bonne 3p

GE3 Sols bruns sur argile à silex, limons caillouteux.

Sol à texture limoneuse en surface, forte charge en silex, reposant sur l'argile à silex en profondeur.

***Moyennement caillouteux** : Moyennement sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est moyenne en automne et bonne au printemps 2p*

***Très caillouteux** : Sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est faible en automne et Moyenne au printemps 1p*

GE4 Sols bruns sur argile à silex, limon argileux ou argile limoneuse, caillouteux.

Sol à texture limono-argileuse ou argilo-limoneuse en surface, forte charge en silex, reposant à faible profondeur sur l'argile à silex.

***Moyennement caillouteux** : Moyennement sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est moyenne en automne et bonne au printemps 2a*

***Très caillouteux** : Sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est faible en automne et moyenne au printemps 1a*

GE5 (a,b,c ou d) Sols bruns calcaires, argilo-calcaires.

Sol à texture argilo-limoneuse, calcaire, reposant sur calcaire ou tuf à profondeur variable :

GE5a calcaire (ou tuf) à 25 cm

Sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est faible en automne et Moyenne au printemps 1a

GE5c calcaire (ou tuf) à 60 cm

Moyennement sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est moyenne en automne et bonne au printemps 2a

GE5d calcaire (ou tuf) à 80 cm

Peu sensible au lessivage. Leur aptitude à l'épandage est bonne 3a

GE7 Terres noires très argileuses.

Sol très argileux (> 45 % d'argile) reposant sur une marne à plus de 80 cm.

Peu sensible au lessivage. Leur aptitude à l'épandage est bonne 3a



Terrasses

S2 (a,b,c ou d) : Sols sableux ou sablo-limoneux, hydromorphes, caillouteux, reposant sur une argile ou argile sableuse à profondeur variable :

S2b sable sur argile à **45 cm**

Sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est faible en automne et Moyenne au printemps 1p

Puisaye

P2 Limons battants, hydromorphes.

Sol à texture limoneuse en surface (peu ou pas caillouteuse), s'enrichissant en argile en profondeur.

Peu sensible au lessivage. Leur aptitude à l'épandage est bonne 3p

P3 Sols bruns sur argile à silex, limons caillouteux.

Sol à texture limoneuse en surface, forte charge en silex, reposant sur l'argile à silex en profondeur.

Moyennement caillouteux : Moyennement sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est moyenne en automne et bonne au printemps 2p

Très caillouteux : Sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est faible en automne et Moyenne au printemps 1p

P7 Sols limono-sableux ou limono-argilo-sableux, caillouteux sur argile, hydromorphe.

Sol à texture limono-sableuse ou limono-argilo-sableuse, caillouteux, reposant à 30 cm sur une argile sableuse ou argile lourde.

Moyennement sensible au lessivage Leur aptitude à l'épandage est moyenne en automne et bonne au printemps 2a ou 2p

P10 (sa ou as) Sols sablo-argileux ou argilo-sableux sur argile.

Sol à texture sablo-argileuse ou argilo-sableuse en surface reposant à 30 cm sur une argile sableuse ou argile lourde.

Peu sensible au lessivage. Leur aptitude à l'épandage est bonne 3a

5. APTITUDES A L'ÉPANDAGE

5.1. GENERALITES SUR LE POUVOIR EPURATEUR DES SOLS

Concernant l'aptitude à l'épandage, il est bon de rappeler les principaux phénomènes successifs faisant suite à un épandage en surface du sol :

- filtration des matières en suspension et rétention en surface,
- minéralisation progressive de la matière organique en composés carbonés et azotés (ammonium, nitrates) sous l'effet de l'activité microbienne,
- stockage transitoire des sels minéraux (évolution possible vers l'évaporation, le ruissellement ou le lessivage avec échanges d'ions),
- précipitation, complexation,
- assimilation par les plantes.



Les sols les plus appropriés sont ceux qui présentent :

- une perméabilité moyenne (ni trop forte pour éviter les lessivages rapides, ni trop faible qui limite les possibilités de rentrer dans les champs pour les épandages),
- une bonne activité microbienne (pour une minéralisation efficace, matière organique active, bonne aération, pH moyen),
- une forte productivité puisqu'en fin de compte, l'épuration finale est assurée par l'exportation des récoltes.

Un sol sera apte à l'épandage s'il retient les éléments fertilisants et l'eau vectrice du lessivage. C'est-à-dire qu'il sera d'autant plus apte qu'il sera sain, argileux et profond.

A l'inverse, un terrain sableux et caillouteux, hydromorphe (non drainé) ou mince, sera peu apte et les épandages ne devraient se faire qu'en faibles quantités au printemps.

Dans la classification des sols à l'aptitude à l'épandage, nous avons tenu compte de 3 critères fondamentaux :

- la possibilité de retenir les éléments minéraux et l'eau (notion de réserve en eau, de capacité d'échange et de profondeur du sol),
- L'intensité actuelle de l'hydromorphie (sain ou hydromorphe drainé, ou hydromorphe à drainer),
- La possibilité ou non de réaliser des labours de printemps, ce qui permet un épandage juste avant le labour pour les cultures de printemps.

5.2. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES APTITUDES DES SOLS A L'EPANDAGE

La typologie des sols et la définition de leur sensibilité au « lessivage » (ou lixiviation) permettent d'identifier les surfaces des parcelles représentées par chacune d'entre elles et de caractériser leur aptitude à l'épandage. Les tableaux 11, 12 et 13 ci-dessous présentent ces résultats.

Tableau 11 : Aptitudes à l'épandage des Unités de sols (1/50000 et 1/100000)

UCS	Source (carte des sols)	Aptitude à l'épandage	sur la surface totale	
			(ha)	(%)
10	1/100 000ème	3	11,25	0,32
10d	1/100 000ème	3	95,70	2,74
11	1/100 000ème	2	21,27	0,61
11d	1/100 000ème	2	4,07	0,12
12	1/100 000ème	3	0,24	0,01
12c	1/100 000ème	3	13,50	0,39
12d	1/100 000ème	3	3,81	0,11
13	1/100 000ème	3	13,46	0,39
13d	1/100 000ème	3	93,23	2,67
14	1/100 000ème	3	19,13	0,55
14c	1/100 000ème	3	4,85	0,14



UCS	Source (carte des sols)	Aptitude à l'épandage	sur la surface totale	
			(ha)	(%)
14d	1/100 000ème	3	126,39	3,62
15d	1/100 000ème	2	89,38	2,56
2	1/100 000ème	2	34,90	1,00
36a	1/50 000ème	1	41,01	1,18
36am	1/50 000ème	1	20,57	0,59
36e	1/50 000ème	2	78,84	2,26
37ad	1/50 000ème	2	89,60	2,57
37ed	1/50 000ème	2	3,07	0,09
38bepd	1/50 000ème	2	54,34	1,56
38ed	1/50 000ème	2	17,05	0,49
38ek	1/50 000ème	2	10,00	0,29
4	1/100 000ème	2	6,82	0,20
50b	1/50 000ème	2	78,74	2,26
50be	1/50 000ème	2	5,95	0,17
52c	1/50 000ème	3	35,00	1,00
52ce	1/50 000ème	3	2,48	0,07
53ab	1/50 000ème	3	73,59	2,11
53c	1/50 000ème	3	30,97	0,89
54ab	1/50 000ème	3	18,55	0,53
54b	1/50 000ème	3	50,04	1,43
55a	1/50 000ème	3	20,62	0,59
55c	1/50 000ème	3	62,52	1,79
56b	1/50 000ème	3	8,89	0,25
57ab	1/50 000ème	2	37,39	1,07
57bdm	1/50 000ème	2	18,36	0,53
57bm	1/50 000ème	2	3,23	0,09
58b	1/50 000ème	2	24,97	0,72
6	1/100 000ème	1	18,39	0,53
60bx	1/50 000ème	2	66,21	1,90
65bm	1/50 000ème	3	6,72	0,19



UCS	Source (carte des sols)	Aptitude à l'épandage	sur la surface totale	
			(ha)	(%)
66a	1/50 000ème	1	18,98	0,54
66a-67ax	1/50 000ème	1	2,47	0,07
66aT	1/50 000ème	1	16,01	0,46
67ax	1/50 000ème	1	403,68	11,57
67ax-69ax	1/50 000ème	1	17,55	0,50
67cx	1/50 000ème	1	21,04	0,60
68abx	1/50 000ème	2	7,12	0,20
68cx	1/50 000ème	2	35,62	1,02
69ax	1/50 000ème	2	86,03	2,47
69bx	1/50 000ème	2	3,08	0,09
7	1/100 000ème	2	570,45	16,35
70a	1/50 000ème	3	223,02	6,39
70c	1/50 000ème	3	166,74	4,78
71c	1/50 000ème	3	109,81	3,15
72a	1/50 000ème	3	26,88	0,77
72b	1/50 000ème	3	69,68	2,00
7abg	1/50 000ème	1	120,11	3,44
7cm	1/50 000ème	1	9,95	0,29
7d	1/100 000ème	2	29,09	0,83
84a	1/50 000ème	3	10,31	0,30
87ab	1/50 000ème	3	8,81	0,25
9d	1/100 000ème	3	116,77	3,35

Tableau 12 : Aptitudes des sols à l'épandage

Sols	Aptitude à l'épandage	sur la surface totale	
		(ha)	(%)
S2b, GE3 (très caillouteux), GE5a, GE11	1	689,76	19,7
GE3 (moyennement caillouteux), GE4, GE5c, GE10, GE12, P3, P7	2	1375,58	39,4
GE1, GE2, GE5d, GE7, P2, P10	3	1422,96	40,8



Tableau 13: Echelle d'aptitude à l'épandage

Sensibilité au lessivage	Aptitude à l'épandage	Part sur la surface totale
Peu sensible 3	Bonne	40,8 %
Moyennement sensible 2	Moyenne en automne hiver Bonne au printemps	39,4 %
Sensible 1	Faible en automne hiver Bonne au printemps	19,7 %

Les sols des parcelles engagées dans le projet sont pour 40% d'entre eux peu sensibles au lessivage et présentent une bonne aptitude à l'épandage. Environ 20%, soit 1/5^{ème} de la surface totale, sont sensibles au lessivage à l'automne mais leur aptitude à l'épandage est bonne au printemps. Ces sols (S2b, GE3 très caillouteux, GE5a et GE11) nécessitent une attention particulière pour limiter le lessivage. Des mesures comme le choix des cultures réceptrices et les périodes d'apport (en visant prioritairement les apports de sortie d'hiver et de printemps ou les apports avant colza) iront dans le sens d'une bonne maîtrise des épandages et limiteront considérablement les risques malgré la présence de sols plus ou moins sensibles.

5.3. ANALYSES DE SOLS

L'arrêté mentionne la réalisation d'analyses de sols (analyse agronomique, granulométrie et métaux lourds).

L'étude agro-pédologique a permis de définir 27 zones homogènes. En moyenne une analyse a été réalisée pour 123 ha épandables. Il a été réalisé au total 27 analyses, celles-ci ayant été réalisées sur des parcelles susceptibles de recevoir le digestat. Le pH doit être nécessairement supérieur à 6,0. Elles montrent que les parcelles sont réglementairement aptes à l'épandage avec des pH supérieurs à 6,0 (le résultat complet des analyses figure en annexe 6 et est résumé ci-dessous).

Les coordonnées des points de prélèvement sont les suivantes :

Tableau 14 : Points de prélèvement des analyses de sols

Identifiant de l'analyse	Exploitation	N° îlot
ENVO01	SARL Champ Donne	2
ENVO02	LACROIX Patrick	20
ENVO03	EARL Les Reveillons	9
ENVO05	EARL Philippe	5
ENVO06	Plassard Jean-Luc	36
ENVO08	Bernard Arnaud	1
ENVO09	Bernard Arnaud	5
ENVO10	Beets Maxence	1
ENVO11	Gibert Cédric	9
ENVO12	EARL Les Cossons	38



Identifiant de l'analyse	Exploitation	N° îlot
ENVO13	Decamp Matthieu	4
ENVO14	Riglet Bernard	21
ENVO15	Quentien Christophe	7
ENVO16	Benezit Nicolas	1
ENVO17	EARL Clement Jean-Michel	11
ENVO18	EARL Cres	15
ENVO19	EARL Demars	2
ENVO20	EARL des Cerfs	12
ENVO21	Doreau Christophe	3
ENVO22	EARL Les Ballus	3
ENVO23	EARL Yves Deniau	15
ENVO24	Patillaut Christophe	2
ENVO25	Patillaut Corentin	2
ENVO26	EARL du Village	21
ENVO28	SARL Champ Donne	13
ENVO29	EARL La Lingonnière	2
ENVO30	Riglet Julien	17

Un suivi des analyses sera réalisé tous les 10 ans et à la fin des épandages.

5.3.1. La granulométrie

Tableau 15 : Texture générale des sols des parcelles d'épandage (granulométrie)

	Argile %	Limons fin %	Limons grossier %	Sable fin %	Sable grossier %
Mini	3,2	12,1	3,7	5,5	3,2
Médiane	15,6	28,7	17,9	8,9	27,7
Maxi	35,6	40,4	36,6	14,4	59,4

La texture de surface des parcelles est majoritairement limono-sableuse, la médiane étant de 47 % de limons, 37 % de sables et 15 % d'argile.

On observe également :

- des parcelles dont la texture de surface est un peu plus riche en argile (texture sablo-argileuse ; 20 à 35 % d'argile)
- des parcelles dont la texture est sableuse (> 60 % de sables).



5.3.2. Le pH

Tableau 16 : pH général des sols des parcelles d'épandage

	pH (eau)	Calcaire total (g/kg)
Mini	6,11	0
Médiane	7,08	0
Maxi	8,57	480

A l'ouest du Loing, sous l'influence des calcaires de Beauce dans lesquels ils se sont développés, la majorité des sols, calcaires ou calciques, sont caractérisés par un pH alcalin (3 analyses dont le pH est compris entre 8,47 et 8,57). Ces sols naturellement riches en calcium ne nécessiteront pas d'être chaulés pour y autoriser le recyclage agricole des digestats.

A l'est du Loing, les parcelles ont un pH voisin de la neutralité (pH compris entre 6,1 et 7,7). Sur ces parcelles, les agriculteurs veilleront à maintenir le pH des sols au-dessus de 6,0 afin que les cultures puissent capter convenablement les éléments nutritifs apportés. Un suivi régulier des teneurs des sols sera réalisé afin d'empêcher les apports de digestat sur des parcelles à trop faible pH. Pour un bon développement des plantes, les exploitants ont tout intérêt à suivre ces teneurs afin de limiter les carences.

5.3.3. La Matière Organique

Tableau 17 : Matière organique dans les sols des parcelles d'épandage

	Azote total (g/kg)	Carbone organique (g/kg)	MO g/kg (N*20)	C/N
Mini	0,71	7,0	14,2	8,5
Médiane	1	10,9	20	10,7
Maxi	1,91	20,8	38,2	11,7

Les sols limono-sableux sont généralement pauvres en MO. Le plan d'épandage présente ici des teneurs moyennes relativement faibles en MO. Les apports de digestat et notamment le solide seront d'autant plus importants sur des sols limoneux pour limiter les risques de battance.



5.3.4. Eléments majeurs

Tableau 18 : Eléments majeurs dans les sols des parcelles d'épandage

En mg/kg	Phosphore Olsen	Potassium échangeable	Calcium échangeable	Magnésium échangeable
Mini	10	86	950	36
Médiane	42	149	2 249	84
Maxi	77	369	12 135	225

Pour le phosphore Olsen dans les sols de ce plan d'épandage :

- des teneurs inférieures à 60 mg/kg sont considérées comme faibles,
- des teneurs comprises entre 60 mg/kg et 80 mg/kg sont considérées comme normales,
- des teneurs supérieures à 80 mg/kg sont considérées comme fortes.

Sur les 27 parcelles analysées, 20 ont des faibles à très faibles teneurs en P₂O₅ pouvant conduire à des carences, 7 ont une teneur moyenne.

Les apports en phosphore des digestats compenseront pour partie les exportations par les cultures sans en apporter plus. Les risques d'enrichissement excessif en phosphore par les épandages de digestats sont donc nuls.

Pour la potasse échangeable, les normes sont beaucoup plus variables car elles dépendent beaucoup du taux d'argile. Pour les sols de ce plan d'épandage, les teneurs recommandées se situent entre 100 et 160 mg/kg. Les parcelles analysées présentent majoritairement des teneurs élevées en potasse.

Les sols de ce plan d'épandage sont également très bien pourvus en magnésie (teneurs recherchées entre 40 et 80 mg/kg pour ces types de sol).

5.3.5. Eléments traces métalliques

Tableau 19 : Eléments traces métalliques (ETM)

mg/kg MS	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Mini	0,17	16,05	4,02	0,02	9,41	8,06	0,22	17,04
Médiane	0,29	28,30	6,26	0,03	13,18	19,23	0,64	29,23
Maxi	0,54	52,65	10,86	0,13	26,30	63,45	1,31	46,33
Norme	2	150	100	1	50	100	10	300
Mini	8,25 %	10,70 %	4,02 %	1,90 %	18,83 %	8,06 %	2,15 %	5,68 %
Médiane	14,38 %	18,87 %	6,26 %	3,10 %	26,37 %	19,23 %	6,40 %	9,74 %
Maxi	27,00 %	35,10 %	10,86 %	12,50 %	52,60 %	63,45 %	13,13 %	15,44 %

Les teneurs des sols en éléments-traces métalliques sont très inférieures aux valeurs limites réglementaires définies dans l'arrêté du 12 août 2010.



5.4. DISTANCES ET CONDITIONS D'ÉPANDAGE

Les risques de lessivage ne sont pas fonction que du sol. Ils dépendent également des produits épandus, de la culture et de la pluie hivernale.

C'est pourquoi la réglementation fixe des périodes d'épandage en fonction du type de produit. Dans le cas présent, les effluents épandus seront sous forme de digestat solide et liquide.

Les distances minimales, avec d'une part les parcelles d'épandage et d'autre part toutes habitations occupées par des tiers ou tout local habituellement occupé par des tiers, les stades ou terrains de camping agréés, à l'exception de camping à la ferme, sont fixées conformément à l'arrêté du 12 août 2010.

Tableau 20 : Distances et délais minimaux de réalisation des épandages

Nature des activités à protéger	Distance minimale	Domaine d'application
Puits, forage, sources	50 m	
Cours d'eau et plan d'eau	10 m des berges 35 m des berges	Bande enherbée ou boisée 10m Cas général
Lieux de baignade.	200 m	-
Sites d'aquaculture (pisciculture et zones conchylicoles)	500 m	-
Habitations ou local occupé par des tiers, zones de loisirs et établissement recevant du public.	15 m 50 m	Enfouissement direct Cas général

L'arrêté du 12 août 2010 est joint en annexe 1.

Les nuisances olfactives seront largement atténuées grâce au phénomène de digestion anaérobie, les épandages pourront donc avoir lieu à 50 m des habitations. Une distance de 35 m sera respectée vis à vis des cours d'eau. Comme inscrit dans le sixième programme de la directive Nitrates, cette distance de 35 m pourra être réduite à 10 m en présence d'une bande enherbée ou boisée d'au moins 10 m entre le champ et le cours d'eau. Il s'agit ici des principales exclusions. Aucun lieu de baignade ou site d'aquaculture n'est présent au sein du périmètre d'épandage.

Sur les 3 488 ha de SAU inscrits dans le plan d'épandage, 3 314 ha sont épandables en digestat solide et 3 166 en digestat liquide. La différence entre SAU et surfaces épandables s'explique par les exclusions vis à vis de forages d'irrigation et d'habitations ainsi que par l'exclusion des petites parcelles. Les contraintes ont été identifiées à partir des cartes IGN (Scan 25 et BD Ortho), à l'aide des rencontres avec les agriculteurs et avec de la prospection de terrain pour partie. Une majorité des surfaces en jachère ont été exclues d'office du plan d'épandage et ne sont pas intégrés dans les calculs ci-dessus. La différence entre le digestat solide et liquide s'explique quant à lui par l'exclusion du digestat liquide sur certaines surfaces au sein de périmètres de protection. En effet, sur les captages ou l'épandage de lisier est interdit au sein de ces zones, il a été fait le choix d'exclure les épandages de liquide de par son caractère aqueux et sa forte disponibilité en azote.

Ceci concerne :

- RIGLET Julien pour 11 ha
- BENEZIT Nicolas pour 2 ha
- DECAMP Mathieu pour 24 ha
- SCEA Terres de la Forest pour 111 ha



Au sein des périmètres rapprochés de captages, seules les parcelles au sein du captage du Puits de l'Abîme resteront épandables en digestat liquide. En effet, son aire est très étendue et l'arrêté ne prévoit pas d'interdiction d'épandage d'effluent liquide. Par mesure de précaution, les épandages de digestat liquide seront autorisés uniquement avant l'implantation des colzas ou au printemps.

La cartographie des parcelles par exploitation ainsi que le tableau récapitulatif des surfaces épandables par îlot sont présents au sein de l'annexe 7.

L'épandage est en plus interdit :

- pendant les périodes de forte pluviosité,
- sur les sols inondés ou détrempés,
- pendant les périodes où le sol est gelé ou abondamment enneigé,
- sur les sols non utilisés en vue d'une production agricole.

La zone d'étude est au sein de la zone vulnérable pour la Directive Nitrates, les dates d'épandages sont donc réglementées.

5.5. MODALITES DE STOCKAGE ET MATERIEL D'EPANDAGE

5.5.1. Stockage du digestat liquide

Le stockage du digestat liquide, après séparation de phase, sera assuré par une poche de stockage sur le site de 7 000 m³ ainsi qu'avec deux poches de stockage en délocalisé de 3 500 m³ et 1 500 m³. Ces 12 000 m³ permettront le stockage du digestat liquide en dehors des périodes d'interdiction d'épandage. Il y aura 9,1 mois d'autonomie de stockage du digestat liquide prévu au total. Le stockage déporté de 3 500 m³ sera située sur une parcelle présente sur la commune de Château-Renard sur la parcelle cadastrale YS 0035 et aux coordonnées suivantes 47.906051, 2.890413. Celui de 1 500 m³ sera situé à St Germain des Prés au lieu-dit La Montagne sur la parcelle cadastrale 000 A 293.

5.5.2. Stockage du digestat solide

Le stockage du digestat solide se fera via une plate-forme bétonnée de 500 m² au niveau du site de production et sur d'anciens silos d'ensilage d'une surface de 600 m² au lieu-dit Les Laubins 45220 Gy les Nonains sur les parcelles cadastrales OA 166/169/314 et 315 ainsi que via de la mise en dépôt temporaire de 48 h maximum sur les parcelles. Les capacités de stockage sur les deux sites seront de 6,4 mois grâce à une capacité totale de stockage de 3 000 m³. Les eaux de pluie tombant sur ces deux ouvrages seront collectées puis réinjectées au processus de méthanisation.

L'arrêté du 12/08/2010 relatif aux unités de méthanisation soumises à enregistrement mentionne que «*les ouvrages de stockage du digestat [...] ont une capacité suffisante pour permettre le stockage de la quantité de digestat (fraction solide et fraction liquide) produite sur une période correspondant à la plus longue période pendant laquelle son épandage est soit impossible, soit interdit, sauf si l'exploitant ou un prestataire dispose de capacités de stockage sur un autre site et qu'il est en mesure d'en justifier en permanence la disponibilité*». En outre, «*la période de stockage prise en compte ne peut pas être inférieure à quatre mois.*»



La directive Nitrates limite les périodes d'épandage. La plus longue période s'étend du 15 novembre au 15 janvier pour les prairies. Ici, très peu de surfaces de prairies sont présentes dans les assolements donc la plus longue période s'étend du 1er octobre au 31 janvier soit 4 mois. Ici la capacité de stockage sera supérieure. Les épandages avant les implantations de colza puis CIVEs et dès la sortie d'hiver sur des céréales permettront de ne pas avoir une durée de plus de 6 mois sans épandages.

5.5.3. Épandage du digestat liquide

Compte tenu de la rapidité de la disponibilité en azote pour les plantes, il sera prévu l'épandage du digestat liquide avec des équipements rampe et pendillards ou enfouisseurs à disques à l'avenir, pneus basses pressions, afin de permettre une bonne répartition du produit, une limitation de la volatilisation et réduire l'impact du tassement du sol. Ces épandages seront réalisés par un prestataire de service spécialisé dans l'épandage de digestats de méthanisation. Les épandages au sein des PPR seront proscrits.



Figure 13 : Pendillards

5.5.4. Épandage du digestat solide

Le produit solide sera homogène et d'une consistance friable facilitant les épandages.

L'épandage de solide se fera dans l'idéal avec un épandeur muni d'une table d'épandage et d'un débit proportionnel à l'avancement. Ceci permet, de par la nature du produit de composition assez fine, d'épandre de façon homogène sur toute la parcelle, contrairement à des fumiers pailleux beaucoup plus difficiles à épandre.



Figure 14 : Epandeur à table

Ces épandages seront réalisés par les agriculteurs eux-mêmes ou par une entreprise.

6. ASSOLEMENTS PRATIQUES

Sur le secteur d'étude, les cultures majoritaires sont le blé, le colza et l'orge. Cependant une diversité importante de cultures y est présente. Il n'y aura pas d'épandages avant légumineuses. L'assolement moyen sur les 3 500 ha de SAU est le suivant :

Tableau 21 : Assolement sur les exploitations

Culture	Surface en ha	Surface épandable en ha
Avoine	9,91	9,59
Betterave sucrière	10	9,72
Blé améliorant	25	23,75
Blé tendre hiver	1151,39	1105,82
Colza hiver	465,4	447,06
Féverole hiver	16,25	15,44
Lin	8,43	8,38
Luzerne	4,29	3,69
Maïs grain	441,32	422,54
Meteil grain	57,73	56,01
Millet	35,98	34,36
Oignon	11,93	11,54
Orge	737,99	701,54
Pois	68,97	64,40
Prairie	93,26	88,52
Sarrasin	38,11	36,76
Seigle hiver	10,94	10,51
Sorgho à grains	4,92	4,74
Sorgho fourrager	12	11,32
Tournesol	208,43	200,63
Triticale hiver	40,82	39,42
GEL + AU	35,26	8,09
<i>CIVE</i>	180	172,10
Total hors CIVE	3488,30	3313,82
Total	3668,33	3485,92



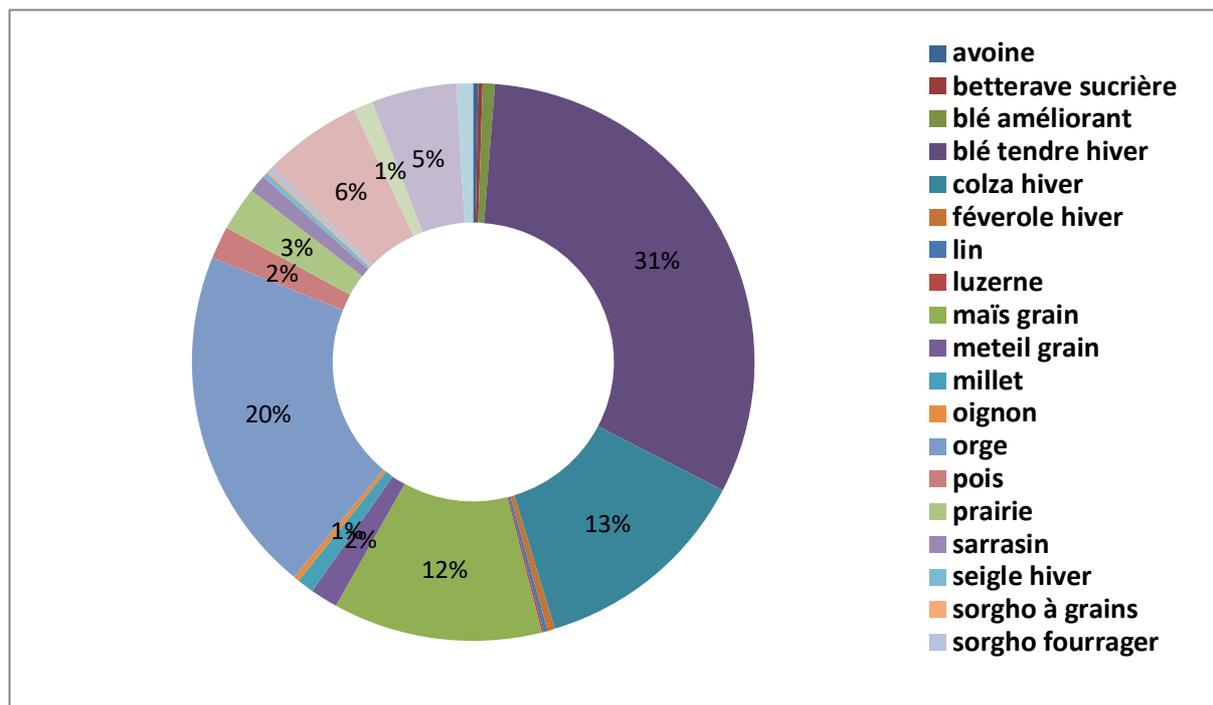


Figure 15 : Assolement sur les exploitations

L'assolement n'est pas fixe dans le temps et varie selon les exploitations. L'introduction de CIVE d'hiver dans les assolements modifie légèrement les assolements des exploitants pour certains avec le remplacement de cultures d'hiver par une CIVE suivie d'une culture de printemps. La part importante de culture de printemps dans les assolements conduit davantage à décaler les dates de semis du maïs, sorgho afin de pouvoir produire la CIVE en amont. L'introduction de la CIVE permettra de disposer d'une souplesse supplémentaire pour la bonne gestion de l'épandage des digestats. Cette surface représente seulement 5 % de la surface totale

7. MODALITES ET DOSES D'APPORT

Les dates d'épandage et doses d'épandage respecteront les programmes d'action de la zone vulnérable du Loiret que ce soit pour le digestat solide ou le digestat liquide.

Les digestats solides pourraient être considérés comme un fertilisant de type I ($C/N > 8$), cependant la forte proportion d' $N-NH_4$ traduit une importante disponibilité de l'azote en première année. Les digestats solides seront donc considérés comme des fertilisants de type II malgré leur C/N élevé.

En partant du principe que les deux produits (solide et liquide) sont des effluents de type II, ils répondent donc à la même réglementation.

7.1. PERIODE D'EPANDAGE

Pour valoriser au mieux les produits épandus et limiter les risques de lessivage, il a été choisi d'épandre les digestats devant les cultures les plus aptes à capter l'azote, ce qui est conforme au programme d'action de la Directive Nitrates.

Pour des raisons agronomiques et environnementales, il a été choisi d'épandre prioritairement les digestats :

- au printemps avant l'implantation des cultures de printemps (betterave, maïs, sorgho, tournesol, ...)
- en sortie d'hiver sur les cultures en place de céréales à paille d'hiver et sur les CIVEs sur les sols suffisamment portants, sous réserve que leur ressuyage soit suffisant
- l'été dès la moisson (à partir de mi-juillet) et avant l'implantation de colza d'hiver semé suffisamment tôt

Des épandages pourront également intervenir à doses raisonnées en fin d'été avant l'implantation de CIVE ou CIPAN. Le semis des CIVEs peut intervenir tôt (à partir du mois de septembre) permettant un développement suffisant pour capter l'azote apporté par le digestat.

Les épandages pourront donc débuter dès la moisson (à partir de mi-juillet) et s'étaleront dans la mesure du possible au maximum jusqu'au 15 octobre (hors prairies). Ensuite, ils reprendront en sortie d'hiver sur céréales à paille d'hiver en place et CIVE d'hiver, puis au printemps avant les cultures de printemps. Le calendrier prévisionnel d'épandage est présent en page suivante. Deux périodes d'épandage seront nécessaires dans l'année ; ce qui nécessitera une répartition des épandages au printemps jusqu'à l'automne. Les épandages sur culture en place permettront d'avoir des créneaux d'intervention très importants.

Selon la portance des sols, l'épandage de digestats ne sera pas forcément possible sur les parcelles au printemps (sols avec fortes teneurs d'argile, labours d'automne, matériel lourd pour l'épandage...). Dans le cas de mauvaise portance, des épandages d'automne pourront être réalisés. Il pourra être envisagé des épandages avant l'implantation de CIPAN ou de céréales d'automne en dernier recours (mais à des doses limitées). Les dérobées seront ciblées en priorité car elles seront utilisées pour être intégrées au méthaniseur sous forme de CIVE.

A contrario, certaines parcelles pourront bénéficier de plusieurs apports (en diminuant les doses par hectare) dans le cours d'une même campagne. L'objectif de cette technique est de piloter les apports d'azote au plus près des besoins de la culture. Par exemple pour une CIVE d'hiver, un apport au mois de septembre peut être envisagé avant le semis et ensuite un 2^{ème} apport (février) pour favoriser la pousse au moment du tallage.

Le sixième programme implique la nécessité d'implanter la CIPAN dans les 15 jours suivant l'épandage. Sachant qu'après l'épandage les agriculteurs devront passer un outil pour enfouir le digestat et ainsi limiter les risques de volatilisation de l'azote, ils pourront semer leur CIPAN en même temps. La réglementation permet également un épandage sur CIPAN en place jusqu'à 20 j avant la destruction.

La CIPAN devra être implantée durant 2 mois minimum et ne pourra être détruite avant le 1^{er} novembre.



Tableau 22 : calendrier d'épandage

Digestat (type II)

	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<u>Colza</u>												
<u>Culture de printemps avec CIPAN</u>	Épandage interdit	Épandage autorisé	Épandage autorisé sous conditions	Épandage interdit	Épandage interdit							
<u>Culture de printemps avec CIVE</u>	Épandage interdit	Période d'épandage à privilégier	Épandage autorisé sous conditions									
<u>Céréales d'hiver</u>	Épandage interdit	Période d'épandage à privilégier	Épandage autorisé sous conditions									
<u>Prairie</u>	Épandage interdit	Période d'épandage à privilégier	Épandage autorisé sous conditions									

— Période d'épandage à privilégier

- - - Période d'épandage possible

Épandage interdit (Directive Nitrates)

Épandage autorisé (Directive Nitrates)

Épandage autorisé sous conditions

de 14 j avant le semis à 21 j avant la destruction de la CIPAN/dérobée pour les cultures de printemps



7.2. DOSES D'APPORTS

➤ Logique mise en œuvre dans les calculs de doses :

La directive Nitrates en Région Centre limite les apports à l'automne à respectivement **50 kg** d'azote efficace par hectare devant ou sur CIPAN et dérobées, **60 kg** devant céréales d'hiver et **70 kg** devant colza et prairies afin de ne pas dépasser la capacité d'absorption des plantes en azote et éviter ainsi le lessivage de celui-ci.

Pour le plan d'épandage, nous nous sommes donc basés sur la disponibilité maximale de l'azote. Dans les deux tableaux ci-dessous, nous présentons les doses maximales qu'il est possible d'épandre au vu de la réglementation en azote (DR) et la dose conseillée (DC). La dose conseillée (non obligatoire) permettra une valorisation optimum de l'effluent épandu au vu des minéraux apportés et des surfaces épandables disponibles.

➤ Doses d'apports à l'automne pour le digestat solide :

Les doses conseillées prennent en compte la dose d'azote que la culture en place est davantage en mesure de capter avant l'hiver (à titre d'exemple un blé au stade 2 talles a capté environ 20 kg d'azote). Ces doses permettront également de limiter les risques de lessivage en prenant en compte notamment pour les cultures en CIPAN/dérobées le degré de réussite de la culture et la mise en place de semis tardifs (qui auront une efficacité moindre que les semis précoces).

Tableau 23 : Doses réglementaires et doses conseillées à l'automne pour le digestat solide

Culture	CIPAN/Dérobées		Blé		Colza/Prairie	
	DR	DC	DR	DC	DR	DC
Doses						
Tonnage/ha	29,4	18	35,2	12	41	25
N total en kg/ha	168	103	201	68	234	143
N efficace en kg/ha	50	31	60	21	70	43
P₂O₅ total en kg/ha	126	77	151	52	176	108
P₂O₅ disponible en kg/ha	120	74	144	49	167	102
K₂O total en kg/ha	221	135	264	90	308	188

Suite au lancement de l'unité, des analyses devront être effectuées sur les digestats pour s'assurer de ces valeurs et répondre à la réglementation. Ces analyses devront être répétées tous les ans et avant chaque épandage. Elles permettront d'ajuster au mieux la fertilisation.

➤ Doses d'apports à l'automne pour le digestat liquide :

Les épandages de liquide seront majoritaires. Ils seront réalisés à l'aide d'une tonne à lisier équipée de pendillards ou d'une rampe avec pendillards.



Les épandages de liquide avant blé à l'automne seront évités. Ils seront privilégiés avant colza et dérobée qui offrent une capacité d'absorption largement supérieure au blé à cette période.

Tableau 24 : Doses réglementaires et doses conseillées à l'automne pour le digestat liquide

Culture	CIPAN/Dérobées		Blé		Colza/Prairie	
	DR	DC	DR	DC	DR	DC
Doses						
Tonnage/ha	21,6	15	26	10	30	22
N total en kg/ha	71	50	86	33	99	73
N efficace en kg/ha	50	35	60	23	70	51
P₂O₅ total en kg/ha	54	38	65	25	75	55
P₂O₅ disponible en kg/ha	51	36	62	24	71	52
K₂O total en kg/ha	108	75	130	50	150	110

Suite au lancement de l'unité, des analyses devront être effectuées sur les digestats pour s'assurer de ces valeurs et répondre à la réglementation. Ces analyses devront être répétées tous les ans et avant chaque épandage. Elles permettront d'ajuster au mieux la fertilisation.

➤ **Explications sur les calculs des doses d'apports :**

L'arrêté du 26 janvier 2018 établissant le référentiel régional de l'équilibre de la fertilisation azotée pour la Région Centre-Val de Loire avance en annexe 5 un coefficient d'équivalence engrais de 30 % pour le digestat solide et de 70 % pour le digestat liquide (voir annexe 8). Ce coefficient correspond en grande majorité à la part en azote ammoniacal qui est immédiatement disponible pour la plante mais qui va subir une légère volatilisation entre la sortie du digesteur et l'épandage. En contrepartie, une infime part de l'azote organique va compenser cette perte en devenant disponible pour la culture en place ou à venir.

Pour le phosphore efficace, nous avons pris un coefficient forfaitaire de disponibilité immédiate pour le phosphore de 95%.

Les apports sont à comparer avec les besoins des plantes évalués par leurs exportations. Le tableau ci-dessous présente les exportations des principales cultures pratiquées, en éléments minéraux à travers la récolte de grains.

Tableau 25 : Exportation des cultures

Cultures	Rendements	Exportation d'azote en kg/ha	Exportation de P ₂ O ₅ en kg/ha	Exportation de K ₂ O en kg/ha
Maïs grain	100 qx/ha	120	60	55
Blé tendre	70 qx/ha	126	46	35
Orge	70 qx/ha	105	46	39



Cultures	Rendements	Exportation d'azote en kg/ha	Exportation de P ₂ O ₅ en kg/ha	Exportation de K ₂ O en kg/ha
Colza	35 qx/ha	102	44	30
Tournesol	30 qx/ha	72	36	32
CIVE	30 t/ha	110	21	137

Les besoins de la plante pour la fertilisation doivent également prendre en compte les besoins pour les dégradations des pailles. En comparant ce tableau avec les tableaux ci-dessus sur les doses d'apport, nous notons que les apports d'azote efficace sont inférieurs aux exportations par les grains. Ceci montre bien que les apports d'azote liés au digestat ne répondront qu'à une partie des besoins des cultures. Pour les apports de P₂O₅ et K₂O, il est possible de raisonner la fertilisation sur l'ensemble de la rotation sachant que ces éléments sont peu sensibles au lessivage.

➤ **Epanchages de printemps :**

Dans le cas d'épandage de printemps, les doses d'apports en végétation dans le blé ou juste avant les semis de cultures de printemps permettront une valorisation optimum de l'azote car au plus près des besoins des cultures. Ici, les sols sont en majorité limoneux avec des profondeurs variables. Les épandages seront privilégiés à cette période pour les sols offrant une portance suffisante en sortie d'hiver. Dans ce cas, les tonnages par hectare pourront être revus à la hausse tout en restant en accord avec les besoins de fertilisation.

Contrairement au compost, le digestat présente des teneurs en azote ammoniacal relativement élevées qui justifient de positionner les épandages au plus près des besoins des cultures.

Tableau 26 : Doses conseillées au printemps pour le digestat solide

Culture	Maïs / Tournesol / Sorgho
Doses	DC
Tonnage/ha	25
N total en kg/ha	143
N efficace en kg/ha	43
P ₂ O ₅ total en kg/ha	108
P ₂ O ₅ disponible en kg/ha	102
K ₂ O total en kg/ha	188

L'azote du digestat liquide est très rapidement valorisable pour les plantes ; ce qui nécessite de le positionner très proche du besoin des plantes. De par sa richesse, l'épandage doit être positionné comme s'il s'agissait d'un apport d'engrais liquide.



Tableau 27 : Doses conseillées au printemps pour le digestat liquide

Culture	Maïs / Tournesol / Sorgho	Blé	CIVE d'hiver
Doses	DC	DC	DC
Tonnage/ha	25	15	20
N total en kg/ha	83	50	66
N efficace en kg/ha	58	35	46
P ₂ O ₅ total en kg/ha	63	38	50
P ₂ O ₅ disponible en kg/ha	59	36	48
K ₂ O total en kg/ha	125	75	100

Le plan prévisionnel de fertilisation permettra de garantir de ne pas dépasser les besoins des cultures.

➤ **Conclusions :**

Les apports d'azote liés au digestat viendront se substituer aux apports d'engrais chimique. A titre d'exemple, en se basant pour le digestat liquide sur 70 % de l'azote total produit (51,8 tonnes) en azote efficace à l'année n, on peut considérer une économie de 36 tonnes d'azote chimique pour l'année, soit une équivalence de 108 t d'ammonitrate 33,5. L'azote organique restant se minéralisera les années suivantes et sera pris en compte par l'agriculteur via les reliquats azotés. Les bilans de fertilisation et les bilans azotés pour chacune des exploitations sont présentés en annexe 9.

Concernant les engrais de fond (P₂O₅ et K₂O), les apports de digestat solide couvriront les besoins de la culture. Les apports de digestat liquide à l'automne pourront nécessiter un complément d'engrais chimique notamment en P₂O₅ sur des parcelles déficitaires pour satisfaire le besoin de la culture.

Pour l'azote efficace, les apports liés au digestat ne seront jamais supérieurs au besoin de la culture mise en place pour éviter le lessivage. Concernant le phosphore et la potasse, il s'agit d'éléments peu mobiles qui présentent très peu de risques de lessivage. Les apports sur la culture pourront donc être supérieurs aux besoins de la plante (pratique courante en agriculture avec des apports d'engrais de fond pour les deux cultures à venir voire plus). A noter que les apports liés au digestat sur l'ensemble de la surface épandable ne couvriront qu'une part des exportations ; par conséquent il n'y aura aucun risque d'enrichissement des sols (les bilans dans le dossier annexé font état de ce rapport « apport organique par rapport aux exportations des cultures »).

Les apports de matière organique seront bénéfiques pour la structuration des sols.

Au total, sur les 3 314 ha épandables inscrits dans le plan d'épandage, il est prévu d'épandre chaque année le digestat sur 1 100 ha environ. En se basant sur les doses plafonds établies pour le digestat, il serait possible d'épandre sur moins de surfaces mais pour valoriser au mieux l'azote, il est plus judicieux de répartir le produit avec des doses inférieures et en privilégiant les cultures adéquates. Le retour des épandages de digestat sur la même parcelle se fera en moyenne sur l'ensemble des exploitations tous les 3 ans.

Les épandages seront réalisés en priorité sur la totalité des surfaces en colza, avant l'implantation des cultures de printemps et sur blé et CIVE au printemps. Le restant des épandages sera réalisé avant CIPAN/dérobées voire en dernier recours avant céréales.



En reprenant les bilans de chacune des exploitations, nous notons que les apports de minéraux liés au digestat seront en moyenne de 21 unités d'azote donc loin de la limite des 170 kg d'azote organique / ha de SAU imposé par la directive Nitrates.

Si l'on rapporte les apports totaux du digestat concerné par le plan d'épandage en éléments minéraux (74 t d'N, 56 t de P₂O₅ et 108 t de K₂O) sur le total des SAU inscrites dans le plan d'épandage (soit 3 498 ha), les apports s'élèveront seulement à 21 kg d'N, 16 kg de P₂O₅ et 31 kg de K₂O par hectare de SAU.

8. AUTRES APPORTS ORGANIQUES

Les exploitations engagées dans le plan d'épandage sont majoritairement des céréaliers sans production de matière organique sur l'exploitation. Les apports actuels prennent la forme de produits normés non soumis à plan d'épandage.

Les seules élevages existants sont soumis au Règlement Sanitaire Départemental et ne nécessitent pas de plan d'épandage. Il s'agit de :

- PLASSARD Jean-Luc avec un élevage de vaches allaitantes
- BERNARD Arnaud avec un élevage ovin

Les fumiers produits sur l'exploitation de M. PLASSARD seront intégrés au méthaniseur et reviendront sous forme de digestat.

Quelques exceptions sont présentes avec LACROIX Patrick qui est inscrit dans le plan d'épandage d'un éleveur de volailles pour environ 40 tonnes de fumier par an.

Les bilans minéraux prennent en compte les apports liés à ces effluents. La superposition des plans d'épandage sera possible. En effet, les effluents seront complémentaires sachant que les apports liés aux digestats ne couvriront qu'une petite part des besoins des cultures en azote.

5 exploitations sont également concernées par le plan d'épandage de l'entreprise Sanofi Winthrop Industrie. Les épandages concernent des effluents liquides ayant des propriétés similaires à de l'azote liquide. Il est d'ailleurs classé comme effluent de type III au titre de la Directive Nitrates. Ils sont apportés via des tonnes à lisier équipées de pendillards. Il n'y a aucun élément phosphoré ou potassique au sein de cet effluent. Les exploitations concernées par des parcelles inscrites dans ce plan d'épandage sont :

- PLASSARD Jean-Luc
- EARL PHILIPPE
- DECAMP Matthieu
- PATILLAUT Christophe
- BENEZIT Nicolas

Ces apports sont classés au même titre que l'azote chimique et sont donc intégrés dans les bilans dans la part d'azote minérale nécessaire aux compléments de l'azote organique.

9. BILANS GLOBAUX DES APPORTS ORGANIQUES A L'EXPLOITATION

Le plan d'épandage est basé sur le maximum de digestat qu'il sera possible d'épandre.



Le tableau suivant récapitule l'ensemble des apports azotés, phosphorés et potassiques organiques, et les compare aux exportations. Ces chiffres sont repris dans l'annexe 9 qui elle-même reprend les bilans de chaque exploitation.

Tableau 28 : Apports azotés, phosphorés, potassiques

	Apport Total/ha SPE			Exportations/ha SPE			Rapport apport export			
	Kg de N/ha	Kg de P ₂ O ₅ /ha	Kg de K ₂ O/ha	Kg de N/ha	Kg de P ₂ O ₅ /ha	Kg de K ₂ O/ha	N	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ dispo	K ₂ O
Moyenne	23	17	34	125	49	51	18%	35%	34%	65%

En moyenne les apports organiques équilibreront à hauteur de 18 % les exportations en azote et à 35 % ceux en phosphore. Des apports en éléments minéraux complémentaires seront donc nécessaires pour satisfaire les besoins des cultures de ces éléments majeurs. La part d'azote organique utilisé pour la fertilisation des cultures nécessitera un pilotage optimum afin de ne pas pénaliser le rendement de la culture.

L'apport en phosphore provenant des apports organiques n'enrichira pas les sols. Certaines parcelles présentent des carences et nécessiteraient un redressement sur cet élément pour favoriser la pousse des cultures.

L'apport en potasse provenant des digestats permettra d'améliorer la fertilité des sols des parcelles de ce plan d'épandage qui présentent majoritairement des teneurs satisfaisantes en cet élément majeur, indispensable à la croissance des plantes pour :

- gérer l'eau de la plante en favorisant son absorption ou son départ par transpiration ; une insuffisance peut diminuer la résistance à la sécheresse,
- réguler la photosynthèse en ouvrant ou fermant les stomates de la plante,
- faciliter la migration des glucides en régulant leur métabolisme dans les feuilles puis leur transport ; par exemple celui du sucre vers les racines des betteraves, ou la transformation des glucides en lipides dans les plantes oléagineuses,
- participer à la synthèse des protéines ainsi que leur migration vers les graines,
- synthétiser plus de 60 enzymes qui commandent les mécanismes de synthèse, de transformation, de migration et de stockage.

Cet élément d'échange, non lessivable, sera majoritairement adsorbé sur le complexe argilo-humique du sol (99%) puis libéré progressivement dans la solution du sol (1%) pour satisfaire les besoins des cultures. Une partie du potassium apporté par les digestats pourra également être rétrogradée, de manière réversible pour constituer une réserve lentement utilisable, sur les surfaces internes des feuillettes d'argile dans les sols secs et/ou à faibles pH.

Sur le plan agronomique, on veillera à éviter la consommation excessive (« de luxe ») du potassium par les plantes qui pourrait avoir pour conséquences d'entraver l'absorption d'autres éléments : le magnésium, le calcium, le sodium et le bore. Même si ces antagonismes sont rarement suffisamment intenses pour créer des carences en magnésium, calcium, et bore, et bien que le sodium ne soit pas, semble-t-il, nécessaire à la plante, une attention particulière sera portée à la surveillance des teneurs en potassium des sols des parcelles de ce plan d'épandage afin d'éviter une augmentation trop importante des teneurs sur certaines parcelles.



10. SUIVI DES EPANDAGES ET ENREGISTREMENT

Chaque année, un programme prévisionnel annuel d'épandage sera établi au plus tard un mois avant le début des opérations concernées. Ce programme comprendra (annexe I-e de l'arrêté du 12/08/2010) :

- la liste des parcelles concernées par la campagne ainsi que la caractérisation des systèmes de culture (cultures implantées avant et après l'épandage, période d'interculture) sur ces parcelles,
- une caractérisation des différents types de digestats (liquides, pâteux et solides) et des différents lots à épandre (quantités prévisionnelles, rythme de production ainsi qu'au moins les teneurs en azote global et azote minéral et minéralisable disponible pour la culture à fertiliser, mesurées et déterminées sur la base d'analyses datant de moins d'un an),
- les préconisations spécifiques d'apport des digestats (calendrier et doses d'épandage...),
- l'identification des personnes morales ou physiques intervenant dans la réalisation de l'épandage.

Un cahier d'épandage sera tenu à la disposition de l'inspection des installations classées pendant une durée de dix ans. Ce cahier d'épandage sera renseigné de manière inaltérable à la fin de chacune des journées au cours desquelles des épandages seront effectués. Il comportera pour chacune des parcelles (ou îlots) réceptrices épandues (annexe I-g de l'arrêté du 12/08/2010) :

- les surfaces effectivement épandues,
- les références parcellaires,
- les dates d'épandage et le contexte météorologique correspondant,
- la nature des cultures,
- les volumes et la nature de toutes les matières épandues,
- les quantités d'azote global épandues toutes origines confondues,
- l'identification des personnes morales ou physiques chargées des opérations d'épandage,
- l'ensemble des résultats d'analyses pratiquées sur les sols et les matières épandues avec les dates de prélèvements et de mesures et leur localisation. Pour la mise en route de l'unité et les premiers épandages, il sera conseillé de réaliser à minima deux analyses agronomiques, ETM et CTO avant les périodes d'épandage sur chacun des digestats et d'en réaliser une en routine. Voici la répartition dans le tableau ci-dessous :

	En 1 ^{ère} année de mise en service	En routine
Digestat solide	2 analyses en juillet-août 2 analyses en mars-avril	1 analyse en juillet-août 1 analyse en mars-avril
Digestat liquide	2 analyses en juillet 2 analyses en janvier 2 analyses en avril	1 analyse en juillet 1 analyse en janvier 1 analyse en avril



Lorsque les digestats sont épandus sur des parcelles mises à disposition par un prêteur de terres, un bordereau cosigné par l'exploitant et le prêteur de terre sera référencé et joint au cahier d'épandage. Ce bordereau sera établi au plus tard à la fin du chantier d'épandage et au moins une fois par semaine. Il comportera l'identification des parcelles réceptrices, les volumes et les quantités d'azote global épandues.

Les zones d'exclusion seront respectées lors de l'épandage. Les cartes d'aptitudes seront fournies à la personne en charge de l'épandage. Il sera rappelé aux conducteurs les distances d'exclusion vis à vis des tiers, forages, cours d'eau....

Chaque agriculteur conformément à la directive Nitrates doit réaliser un plan de fertilisation azoté prévisionnel qui intègre tous les apports azotés que ce soit les engrais chimique ou divers produits organiques. Le cahier d'épandage est aussi obligatoire.

La directive Nitrates impose aussi la réalisation d'un reliquat azoté par exploitation et soit l'ajout d'une deuxième analyse soit une estimation à l'aide d'un logiciel. L'apport d'effluents organiques en période dérogatoire (à partir du 1^{er} juillet) nécessite la réalisation d'un reliquat par îlot cultural ou ensemble d'îlots culturaux identiques (même sol, même succession de cultures, même fertilisation). Ici, les épandages seront réalisés seulement pour partie en période dérogatoire ; les épandages de printemps étant privilégiés. Pour les surfaces en colza, ce reliquat pourra être remplacé par une pesée de biomasse ou l'utilisation de la réglette.

Pour chaque ajout ou rejet de parcelles dans le plan d'épandage, un avenant sera réalisé. Ce dernier sera transmis à l'inspecteur des ICPE en charge du dossier et avant les premiers épandages s'il s'agit d'ajout de parcelles. Une analyse de terre au regard des paramètres définis à l'annexe II (à l'exception de la granulométrie) sera réalisée dans l'année qui suit l'ultime épandage sur chaque parcelle exclue du périmètre d'épandage. Cette modification du périmètre d'épandage sera portée à la connaissance du préfet.

Toute admission de déchets ou de matières par le méthaniseur donnera lieu à un enregistrement (art. 29.1 de l'arrêté du 12/08/2010):

- de leur désignation,
- de la date de réception,
- du tonnage ou, en cas de livraison par canalisation, du volume,
- du nom et de l'adresse de l'expéditeur initial,
- le cas échéant, de la date et du motif de refus de prise en charge, complétés de la mention de destination prévue des déchets et matières refusés.

L'exploitant sera en mesure de justifier de la masse (ou du volume, pour les matières liquides) des matières reçues lors de chaque réception, sur la base d'une pesée effectuée lors de la réception ou des informations et estimations communiquées par le producteur de ces matières ou d'une évaluation effectuée selon une méthode spécifiée.

Les registres d'admission des déchets seront conservés par l'exploitant pendant une durée minimale de trois ans. Ils seront tenus à la disposition des services en charge du contrôle des installations classées.

L'exploitant établira un bilan annuel de la production de déchets et de digestats et tiendra en outre à jour un registre de sortie mentionnant la destination des digestats (art. 29.1 de l'arrêté du 12/08/2010): mise sur le marché conformément aux articles L. 255-1 à L. 255-11 du code rural, épandage, traitement (compostage, séchage...) ou élimination (enfouissement, incinération, épuration...) et en précisant les coordonnées du destinataire.



Ce registre de sortie sera archivé pendant une durée minimale de dix ans et tenu à la disposition des services en charge du contrôle des installations classées et, le cas échéant, des autorités de contrôle chargées des articles L. 255-1 à L. 255-11 du code rural.

Le cahier d'épandage pourra, le cas échéant, tenir lieu de registre de sortie des digestats.

11. ANALYSE DE L'INCIDENCE DE L'ÉPANDAGE ET MESURES PRISES POUR LES LIMITER

11.1. TRAFIC ROUTIER

La création de l'unité va nécessiter un trafic de camions et engins agricoles pour acheminer les digestats jusqu'aux parcelles d'épandage. Comme tout trafic routier, ce transport de digestats peut entraîner des collisions pouvant elles-mêmes entraîner des blessures corporelles. La situation des parcelles d'épandage vis à vis de l'unité permet cependant de limiter le trafic sur les grands axes ou alors simplement leur traversée. La quasi-totalité des îlots épandables se trouvent dans un rayon de 12 km autour de l'unité.

Le transport sera assuré par un prestataire avec des camions ou des tracteurs-bennes. Pour le calcul du trafic routier, nous avons pris une densité de 0,7 pour le digestat solide et une densité de 1 pour le digestat liquide. On peut estimer le trafic à un peu plus de 1 000 véhicules par an soit 3 véhicules par jour en moyenne avec des pics d'activité de février à mai et en août-septembre (se référer au dossier ICPE pour avoir le détail et les flux).

Des risques de déversements accidentels peuvent avoir lieu lors du transport si le chargement est trop important. Ces déversements ponctuels pouvant tomber sur la route n'entraîneront pas de pollutions du fait de leur très faible volume mais seront limités autant que possible.

Les risques de déversements peuvent également survenir lors d'un accident de la route ou un déversement de l'ensemble du chargement. Mais même dans ce cas la pollution serait mineure de par le volume transporté dans chaque benne.

En cas d'accident avec du digestat solide, hors zone inondée, les risques de pollutions sont très faibles puisque le digestat pourra être rechargé en totalité dans une autre benne. Dans la mesure du possible, un pompage pourra être envisagé si cela se produit avec du digestat liquide.

11.2. INCIDENCES SUR LA RESSOURCE EN EAU

11.2.1. Eaux souterraines

Les épandages sont ici raisonnés et respectent la réglementation actuelle. Les pressions d'azote et de phosphore seront peu élevées et n'engendreront pas une dégradation de la qualité des eaux.



L'épandage respectera une distance minimale d'épandage de 50 mètres en vers les sites de captage comme stipulé dans la réglementation en vigueur. Ainsi, les épandages respecteront la réglementation en vigueur ce qui permettra d'éviter tout risque de lessivage vers les eaux des différents captages.

Cinq PPC interceptent des parcelles d'épandage.

L'îlot n° 23 de l'EARL Demars intercepte le PPR du forage «La Metairie» à de Montbouy, les parcelles sont en jachères, il n'y aura pas d'épandage.

Il n'y aura pas d'épandage de digestat liquide sur les parcelles incluses dans les PPR suivants :

- PPR des forages «Erable» à Château Renard : îlot n° 4 de Nicolas Benezit
- PPR du forage «Trigueres Livernais» à Trigueres : îlots n° 5, 6, 11 et 12 de Julien Riglet
- le PPR des captages «Sources des 3 fontaines» à La Selle sur le Bied : îlot n° 22 de David Groeneweg.
- PPR du captage «Source Armenault » à Montcresson : îlots n° 9, 10, 12 à 15, 17 à 20 et 22 à 25 de la SCEA des Terres de la Forest, et n°14 et 16 de Matthieu Decamp

Les arrêtés préfectoraux permettent l'épandage agricole sous réserve qu'ils soient réalisés en conformité avec la réglementation en vigueur, ce qui sera le cas des épandages de la SAS ENVO 45. Toutefois, afin de limiter au maximum les risques de transferts d'éléments vers les eaux souterraines et la nappe de la craie du Sénonien, seul l'épandage du digestat solide sera réalisé sur ces parcelles et ils seront réalisés prioritairement :

- juste avant l'implantation de cultures de printemps, à une dose maximum de 20 t MB/ha,
- l'été dès la moisson (à partir de mi-juillet) et avant l'implantation de colza d'hiver semé suffisamment tôt, à une dose maximum de 15 t MB/ha.

11.2.2. Eaux superficielles

Au même titre que la ressource en eaux souterraines, l'impact des épandages sur les eaux superficielles pourra être considéré comme négligeable. En effet, les épandages se feront dans le respect de la réglementation vis-à-vis des distances d'épandage par rapport aux cours d'eau. Ils se feront aux périodes les plus propices avec des doses par hectare raisonnées limitant les risques de pollution des eaux de surface.

Ainsi, les surfaces potentiellement épandables situées dans une bande de 35 mètres de part et d'autre des cours d'eau de la zone d'étude ont été exclues du plan d'épandage. Cela limite considérablement la dégradation de la qualité des cours d'eau adjacents. Les épandages ne vont pas engendrer d'eutrophisation des cours d'eau et ne vont pas altérer la qualité piscicole des différentes rivières.

Même si les cours d'eau constituent, en partie, le milieu récepteur des produits de lessivage des parcelles épandables, l'épandage de digestat se faisant dans des quantités raisonnées, il n'y aura pas d'incidences négatives sur la qualité des cours d'eau.



11.3. INCIDENCES SUR L'ENVIRONNEMENT NATUREL

11.3.1. Natura 2000

Les surfaces potentiellement épandables sont situés en dehors de toute zone Natura 2000. Le site le plus proche « les sites à chauves-souris de l'est du Loiret » (FR2402006) est situé à proximité de l'îlot n° 11 de la SARL Champ Donne. Le site Natura 2000 concerne un ensemble de cavités souterraines.

L'épandage de digestats n'aura donc aucune incidence sur la zone Natura 2000 la plus proche.

11.3.2. ZNIEFF

Les surfaces potentiellement épandables de ce plan d'épandage sont situées en dehors de toute ZNIEFF qu'elle soit de type I ou II. L'épandage des digestats n'aura donc aucune incidence sur les zones naturelles.

11.3.3. Conclusion

Pour conclure, il n'y aura aucun stockage ou épandage de digestat solide et liquide sur les zones de protection de la nature. Les épandages seront réalisés en adéquation avec la réglementation et les besoins des plantes pour ne pas perturber l'environnement proche.

L'apport d'effluent organique interviendra en remplacement partiel de la fertilisation minérale actuellement pratiquée.

L'épandage des digestats n'aura donc aucune incidence sur les zones naturelles.

11.4. LES RISQUES LIES AUX APPORTS DE MINERAUX

Les épandages de matière organique peuvent être une source de pollution s'il y a un ruissellement vers un cours d'eau ou du lessivage vers les nappes. Ces écoulements peuvent entraîner une eutrophisation des milieux humides ou encore une augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux des nappes souterraines.

11.4.1. Les nitrates

Le digestat contient des matières azotées sous forme organique ou minérale. Sous l'action de la digestion anaérobie et de la flore microbienne, l'azote organique se transforme lentement en azote minéral qui évolue de la forme ammoniacale (NH_4^+) vers l'azote nitrique (NO_3^-). Ce dernier est fugace dans les sols car il est soluble et ne se fixe pas au sol. Ce sont ces nitrates qui, lorsqu'ils sont en excès, ruissellent vers les cours d'eau ou s'infiltrent jusqu'aux nappes.



Les nitrates sont des substances indispensables à la croissance des plantes. C'est pour la majorité des végétaux la forme principale d'absorption d'azote qui est indispensable à la fabrication de protéines.

Ces protéines végétales sont la principale ressource en acide aminé indispensable à la fabrication des protéines chez les animaux et l'homme.

Les Nitrates sont donc une des sources de vie.

Mais dans l'eau, les nitrates sont des substances indésirables à forte dose. Dans les étangs et rivières, de faibles doses sont nécessaires à la croissance des algues, une fertilisation raisonnée d'étang piscicole peut être réalisée avec des effluents d'élevage.

Les nitrates sont non toxiques à faible dose mais l'excédent est à proscrire.

Les teneurs en nitrate dans les eaux destinées à l'alimentation ne doivent pas dépasser 50 mg/l, une tolérance existe pour une eau brute comprise entre 50 et 100 mg/l qui peut être traitée. Au-dessus de 100 mg/l il faudra abandonner la ressource.

Sur le plan environnemental les nitrates favorisent l'eutrophisation des cours d'eau et la prolifération d'algues le long des côtes qui peuvent produire des toxines qu'on retrouve dans les coquillages et dans les zones de baignade.

C'est pourquoi le point de la gestion par épandage et valorisation par les cultures du digestat produit sont étudiés de façon précise dans les parties ci-dessus ainsi que la qualité des eaux souterraines, et d'autre part la qualité des eaux superficielles.

Les sols présents sont en majorité peu sensibles au lessivage.

Comme le montre ce graphique tiré de l'expérimentation de longue durée de Rothamsted en Angleterre, ce sont les parcelles qui ont reçu une fertilisation organique depuis plus de 140 ans qui ont une population lombricienne la plus importante.

De plus, l'épandage a un effet positif sur la microfaune et la microflore des terres agricoles: *"les apports de fumiers et de lisiers entraînent toujours une augmentation des biomasses"*. Parmi cette biomasse, les vers de terre constituent un élément essentiel et « *un peuplement équilibré de lombriciens contribue à multiplier les voies possibles du cycle de l'azote, et en conséquence diminue la vitesse de passage dans la nappe phréatique* » (F Binet et P Tréhen 1990 in GIS environnement).



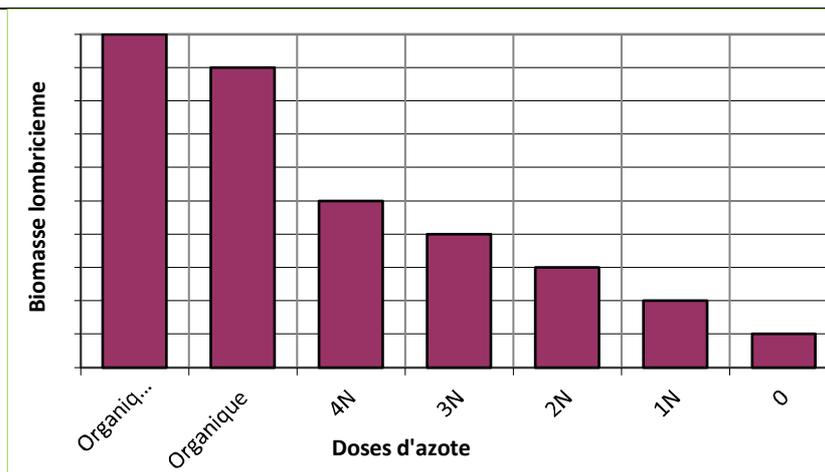


Figure 16 : Effets de la fertilisation sur le vers de terre

L'apport azoté minéral complémentaire sera adapté en fonction du besoin des plantes et de la quantité de produits apportés.

L'apport azoté d'origine organique sera d'environ 21 kg N/ha SAU/an, c'est à dire une valeur très inférieure à celle prévue dans la Directive Nitrates (170 kg N/ha/an). Un cahier d'épandage sera tenu à jour.

11.4.2. Le phosphore

➤ Risque de transfert vers les eaux :

Le phosphore peut engendrer des problèmes de pollution de l'eau, il atteint l'eau par deux circuits distincts, soit :

- directement, comme c'est le cas des eaux usées des stations d'épuration qui, après traitement, sont rejetées dans le cours d'eau,
- indirectement, après l'épandage des déjections animales, des boues résiduelles des stations d'épuration ou des engrais phosphatés sur les cultures.

En effet, ces amendements, lorsqu'ils sont apportés en excès, entraînent une accumulation de phosphore dans le sol. Le phosphore peut ensuite atteindre le réseau hydrographique par ruissellement, par érosion des sols et marginalement par lessivage.

➤ Effet du sol sur les transferts :

Plus précisément, le sol régule les transferts du phosphore vers le réseau hydrographique grâce à ses particules qui le retiennent. Cette particularité conduit à une accumulation importante de phosphore dans les sols. L'un des facteurs intervenant sur les risques de transfert superficiel du phosphore est la sensibilité du sol au ruissellement et à l'érosion et sa sensibilité à la battance.

La battance du sol est fonction en première approche du taux de matière organique du sol et de la texture du sol. Ainsi, lorsque le taux de matière organique dans le sol est important et le sol bien aéré, le risque de transfert de phosphore vers les eaux est plus faible.

En effet, l'infiltration de l'eau est meilleure, il y a donc moins de risque de ruissellement. L'érosion lors de fortes pluies (augmentée par la présence de sols nus en hiver, par la diminution des surfaces de prairies et de bocage) et les stocks importants de phosphore dans les sols, augmentent les transferts rapides vers les cours d'eau.

Dans les cours d'eau, la concentration en phosphore est due à l'accumulation de plusieurs types d'apport et aux sédiments qui stockent le phosphore. Les sédiments des cours d'eau, des retenues et des estuaires jouent un rôle de stockage (puits) et de relargage (source) en fonction du brassage de l'eau, des variations du pH et de la teneur en oxygène des eaux. Le phosphore est donc transféré par « bonds » successifs jusqu'aux estuaires où il s'accumule.

Le phosphore est très peu lixivié en profondeur comme le montre ces deux profils de sol :

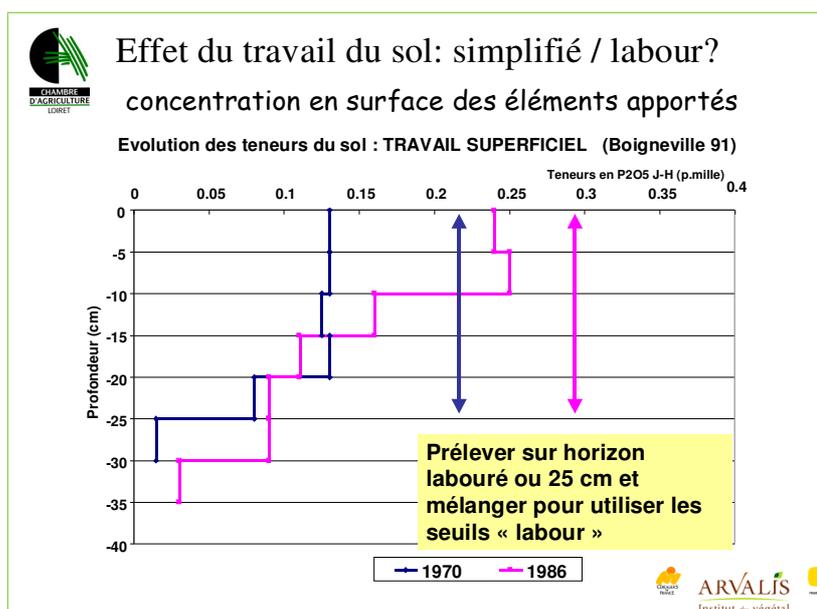


Figure 17 : Effet du travail du sol (Source : Arvalis)

A trente centimètres, il n'y a presque plus de phosphore. Une modification du travail du sol concentre rapidement le phosphore en surface.

Pour qu'il y ait entraînement du phosphore présent dans une parcelle vers un milieu aquatique, il faut donc une proximité de ce milieu aquatique, du ruissellement conditionné par une battance des sols et une pente, et de l'érosion qui dépend de la force du ruissellement et de la fragilité des sols.

Le relief des parcelles d'épandages est plat. Les rivières sont protégées par des bois ou des bandes enherbées, il n'y a aucun risque de départ de P₂O₅ vers le milieu naturel.

➤ Résultats d'expérimentations :

Les teneurs en phosphore Joret Hebert des sols analysés par le laboratoire de la Chambre d'Agriculture du Loiret varient de quelque ppm (partie par million) à plus de 2300 ppm pour des jardins. Aucune toxicité n'est apparue. Ces teneurs excessivement fortes ont été trouvées dans des jardins sans occasionner de toxicité. Il est évident que ces teneurs ne sont pas à rechercher et sont à proscrire.

Le phosphore est un des trois éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes. Cet élément fait partie du monde du vivant et n'existe que très peu dans les minéraux des roches. Les sols en sont donc naturellement peu pourvus.

L'augmentation des rendements a pu se faire en augmentant les teneurs des sols par apport d'engrais depuis plus d'un siècle provenant soit de phosphate naturel soit de phosphate naturel traité à l'acide afin de rendre ceux-ci plus solubles. L'enrichissement des sols est donc indispensable afin d'obtenir des rendements corrects.

L'enrichissement des sols ne détruit pas les sols comme le montre ces résultats provenant d'essais anglais de Rothamsted. Dans ces parcelles, des apports de phosphore importants ont été épandus pendant plus de 100 ans. La population de lombric croit avec la dose qui est 10 fois plus forte que le projet présenté, qui est en moyenne de 17 kg de phosphore organique par hectare et par an.

Les apports sous formes de fumiers sont plus efficaces que les apports sous formes minérales.

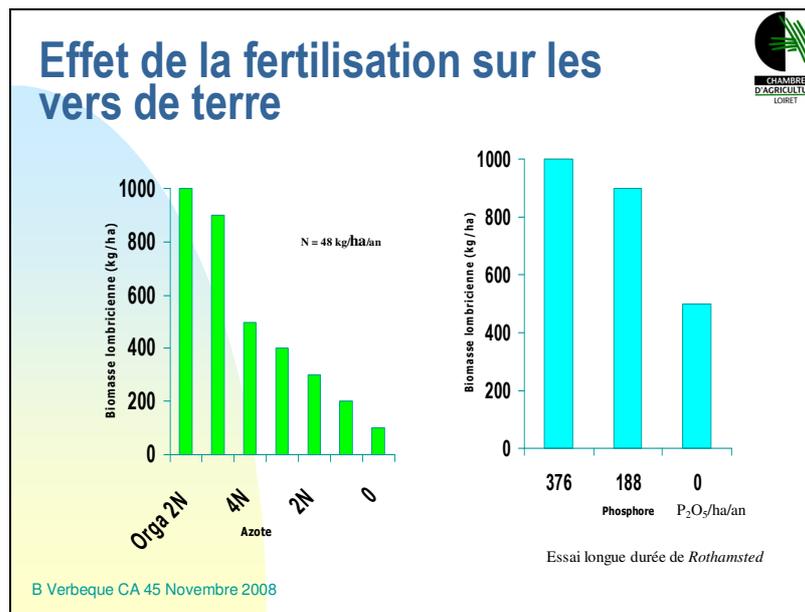


Figure 18: Effet de la fertilisation sur les vers de terre

Il y a une interaction positive avec la biomasse microbienne.

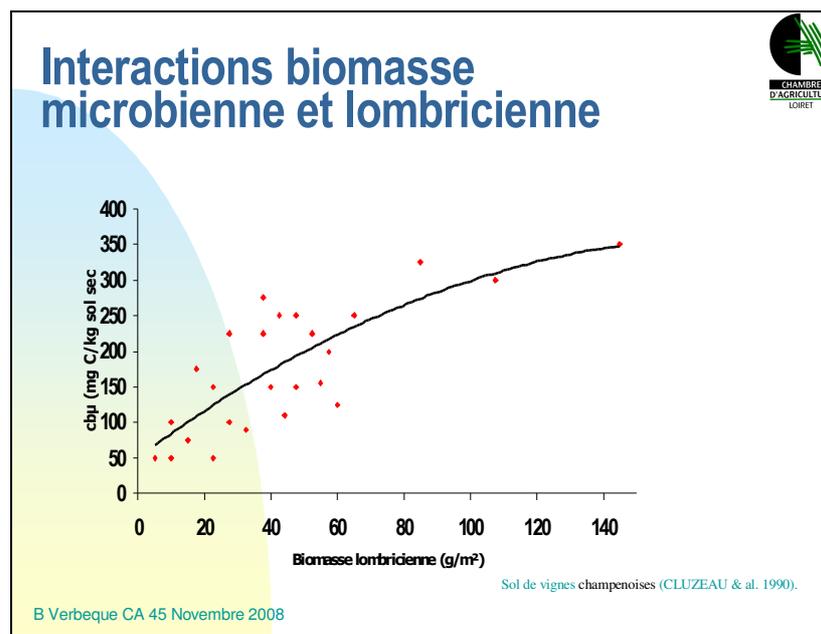


Figure 19 : Interactions biomasse microbienne et lombricienne



L'apport de phosphore ne détruit donc pas les sols bien au contraire il augmente l'activité biologique globale.

L'enrichissement du sol en phosphore biodisponible, donc la forme la plus "mobile" est lent comme le montre ces résultats d'essais :

- **Essai au lycée agricole du Chesnoy**
 - Sable argilo calcaire avec 20% de cailloux
 - PH 8.7
 - Essais de 1967 à 1983

Tableau 29 : Essai au lycée agricole du Chesnoy

	Dose annuelle	Apport total sur 19 ans	Export moyen annuel	Export sur 19 ans	Rapport apport export	Teneur 1967 P ₂ O ₅ JH ppm	Teneur 1983 P ₂ O ₅ JH ppm	Evolution stock biodisponible Kg /ha de P ₂ O ₅
P1	60 kg/ha	1140 kg	52 kg / ha / an	986	115%	210	194	-43 kg par hectare
P2	120 kg/ha	2280 kg	52 kg / ha / an	994	229%	210	264	+146 kg /ha

Dans cet essai un apport de 115% par rapport aux exportations fait diminuer le stock de phosphore biodisponible. Un apport de 120 kg, correspondant à 229% des exportations, n'enrichi le sol que de 146 kg/ha, soit 54 ppm ou de 2.8 ppm par an de phosphore biodisponible.

Cet essai confirme qu'un équilibre strict entraîne un appauvrissement en phosphore biodisponible et qu'un apport de 229% n'entraîne pas un enrichissement rapide et excessif du sol. Si l'on compare les doses à épandre et les bilans à cet essai on ne doit plus observer d'enrichissement en phosphore pour ces sols. Nous démontrons donc qu'il n'y aura pas d'enrichissement en phosphore. Pour atteindre une dose de 60 kg/ha qui conduit à une diminution du stock biodisponible, il faudrait l'équivalent de 14 t de digestat solide tous les ans (ou 24 m³/an de digestat liquide), ce qui est loin d'être le cas sur ce plan d'épandage avec les apports organiques.

11.5. INCIDENCE SUR LES POPULATIONS ET LE PERSONNEL

11.5.1. Le bruit et les odeurs

La digestion anaérobie permet d'éliminer de nombreux Composés Organiques Volatils, soit par l'action des micro-organismes, soit du fait de l'absence d'oxygène qui joue un rôle dans la dégradation de certains composés organiques. Les odeurs des digestats sont donc largement diminuées par rapport aux produits entrants. Concernant le bruit, il sera lié au trafic routier et aux travaux d'épandage. Celui-ci existe déjà en partie. Ces nuisances s'apparentent aux nuisances classiques du passage d'engins agricoles. Environ 4 périodes de quelques jours seront nécessaires pour réaliser les épandages. Le stockage délocalisé permettra de diluer les pics de transport durant ces périodes.



11.5.2. Les risques sanitaires

Les risques sanitaires lors des épandages seront faibles compte tenu de l'origine du produit et du traitement. En effet, le gisement se compose majoritairement de déchets et sous-produits agricoles et issus de l'industrie agro-alimentaire.

Ces matières sont peu exposées au risque de contamination par des éléments traces métalliques, composés traces organiques ou bien par des micro-organismes pathogènes.

11.5.2.1. LES RISQUES DUS AUX NITRATES

En présence de bactéries les nitrates transformés en nitrites peuvent provoquer chez les nourrissons de moins de 3 mois nourri au biberon une méthémoglobinémie, "chez le reste de la population le seuil de 50 mg/l est d'avantage une mesure de précaution vis à vis du risque potentiel de cancer gastrique sur le long terme". *"Bien que les preuves épidémiologiques d'une association entre l'apport alimentaire de nitrates et le cancer soient insuffisantes"* (OMS) chez l'adulte la dose maximale admissible résultant de la totalité consommée est fixée à 3,65 mg de nitrates / kg de poids corporel. Les nitrates dans l'alimentation proviennent principalement des légumes et des conservateurs. (Note DDASS janvier 2001).

Les épandages de digestat pourraient avoir un impact sur la qualité de l'eau mais l'ensemble du plan est dimensionné pour limiter les fuites de nitrate et notamment vers l'eau potable (équilibre de la fertilisation, épandage limité dans les périmètres rapprochés de captage d'eau potable). La pression azotée d'origine organique par hectare est inférieure aux maximaux autorisés et les épandages seront fonction des besoins des plantes.

11.5.2.2. L'AMMONIAC

Ces produits sont riches en ammoniac (NH_4^+). Lors de l'épandage cet ammoniac peut se transformer en ammoniac gazeux (NH_3) et se volatiliser. Cet ammoniac peut avoir un effet sur l'homme. Certaines personnes détectent plus facilement l'ammoniac que d'autres. Le tableau ci-dessous résume les effets des niveaux de concentration de l'ammoniac sur l'homme.

Tableau 30 : Effets du niveau de concentration de l'ammoniac sur l'homme

Niveau d'exposition	Effets
5 ppm	Délectable à l'odeur
6 à 20 ppm	Irritation des yeux et du système respiratoire
40 ppm	Maux de tête - nausée - perte d'appétit
100 ppm	Irritation de la muqueuse - salivation - écoulement nasal

Il n'existe pas d'étude probante montrant l'effet cancérigène de ce gaz. Les valeurs toxicologiques de références émises par les organismes d'expertise sont fondées sur des observations chez l'homme ou d'extrapolations à partir d'expérimentations animales pour les expositions supérieures à un jour. Elles retiennent l'existence d'un seuil pour l'expression du danger. Les concentrations maximales admissibles recommandées sont présentées dans le tableau suivant.



Tableau 31 : Recommandations concernant les teneurs atmosphériques en ammoniac selon la durée d'exposition

Organisme	Durée d'exposition	Valeur proposée	Exposition
INRS	Instantanée	36 mg/m ³	professionnelle
	8h/jour	18 mg/m ³	''
OMS	Instantanée	20-50 mg/m ³	Environnementale
ATSDR	1 jour	36 mg/m ³	''
	14 jours	0,36 mg/m ³	environnementale
	> 14 jours	0,22 mg/m ³	''
EPA	Vie entière	0,1 mg/m ³	environnementale

La transformation en ammoniac gazeux peut se produire lors des épandages c'est pourquoi un épandeur avec pendillards est prévu pour le liquide. Les enfouissements seront aussi rapides. L'agriculteur n'a pas intérêt à perdre ce fertilisant. Ces pertes se feront dans les champs donc dans un milieu aéré et non confiné comme peuvent l'être les élevages. L'exposition et la concentration seront donc faibles, les risques peu élevés.

11.5.2.3. EFFET DE LA METHANISATION SUR LES PATHOGENES

La méthanisation a un impact positif sur la diminution des pathogènes comme le montrent ces différents articles.

➤ **« Effets de la digestion anaérobie sur les micro polluants et germes pathogènes », Christian COUTURIER :**

Cet article donne l'état des connaissances des effets de la méthanisation anaérobie, à partir d'une étude bibliographique réalisée pour le compte de l'ADEME en 1999, et de publications plus récentes. Il ressort de ces travaux que la digestion anaérobie :

« Virus, bactéries, parasites, champignons : le risque infectieux est lié étroitement à la dose subie, c'est-à-dire à la quantité de microorganismes en relation avec l'hôte potentiel – humain, animal, plante. Le traitement vise à réduire l'exposition en éliminant ou inactivant les organismes pathogènes »

Les principaux paramètres d'élimination des agents pathogènes sont le temps et la température. Globalement, la digestion mésophile classique (autour de 37°C) permet d'éliminer en ordre de grandeur 99 % des germes pathogènes (facteur 100), et la digestion thermophile (autour de 55°C) 99,99 % (facteur de réduction de 10.000)

➤ **Quelle place de la méthanisation en Ile de France (Ordif juil 2003) ?**

- **Les germes pathogènes :**

Les principaux paramètres d'élimination des bactéries sont le temps et la température. *Dans la pratique, le taux de réduction dépend de nombreux paramètres : la concentration initiale en agent pathogène, le mode d'alimentation du digesteur, et la compétition avec les autres microorganismes.*

La majorité des espèces virtuellement pathogènes est éliminée par la méthanisation.

Les rares résultats disponibles sur les phytopathogènes, susceptibles de parasiter les plantes, sont très satisfaisants : le Fusarium oxysporum (champignon), le Corinobactrium michiganense (bactérie) et le Globodera pallida (nématode) sont totalement éliminés à 35°C.



Tableau 32 : Paramètres permettant la réduction des germes pathogènes

Agent pathogène	Concentration initiale	Concentration finale	Taux de réduction	Durée	Température
Salmonelles			100 %	10 minutes	60°C
Coliformes	2.700.000	2.300	99,9 %	18 jours	60°C
Entérocoques	160.000	170	99,9 %	18 jours	60°C
Ascaris			100 %	20 minutes	60°C
Salmonelles			100 %	48 heures	35°C
Coliformes	2.700.000	55.000	98 %		35°C
Entérocoques	160.000	3.000	98 %		35°C
Ascaris			100 %	30 jours	38°C

Tableau 6 : Paramètres permettant la réduction des germes pathogènes (Source : « Etat des connaissances sur le devenir des agents de risques sanitaires de la filière méthanisation des déchets et des sous-produits organiques », SOLAGRO, ENSAT, ENVV, ARM, 1999)

Les distances d'épandage et l'enfouissement limite aussi considérablement les risques d'exposition des populations.

11.5.2.4. EFFET DE LA METHANISATION SUR LES COMPOSES TRACES ORGANIQUE

La méthanisation dégrade ou transforme en composés non ou peu toxiques la plupart des composés aliphatiques ou mono-aromatiques, halogénés (Benzène, toluène, phénols, acides organiques alcool...). Les composés polycycliques plus résistants forment en général des composés moins toxiques (pesticides – lindane, DDT, PCB, dioxines...)

Des éléments sont fournis par l'étude d'Octobre 2011 sur la qualité agronomique et sanitaire des Digestats commandée par l'ADEME.

Cette étude donne quelques valeurs de PCB et HAP des digestat d'origine organique.



Extrait de l'étude ADEME : Teneurs en composés traces organiques dans les digestats d'origine agricole

9.1.1 Digestats d'origine agricole et matières végétales : Présentation des quelques valeurs obtenues lors de la collecte de données

Le Tableau 40 donne les teneurs en CTO dans les digestats. Au total, seulement 18 et 9 analyses ont pu être récoltées respectivement pour les HAP et les PCB. Ces données ne permettent pas de donner une indication sur les effets des intrants ou des procédés. Cependant, on peut noter que les teneurs en CTO sont relativement faibles comparativement aux seuils fixés par les normes concernant les amendements organiques.

Tableau 40 : teneurs en composés traces organiques dans les digestats d'origine agricole

Paramètres	Nombre de digestat	Moyenne en µg/kg MS	Teneurs limites 44-051 µg/kg MS	Teneurs limites 44-095 µg/kg MS
HAP				
Fluoranthène	18	8,48	4000	4000
Benzo(b)fluoranthène	18	8,44	2500	2500
Benzo(a)pyrène	18	8,45	1500	1500
PCB				
PCB 28	9	<20,00	Non requis par la NFU 44-051	800
PCB 52	9	20,56		
PCB 101	9	<20,00		
PCB 138	9	20,78		
PCB 153	9	<20,00		
PCB 118	9	<20,00		
PCB 180	9	<20,00		
Somme des 7 PCB	18	70,72		

Les résultats présentés sont obtenus sur quelques installations et ne sont donc pas représentatifs des digestats en général. Pour les quelques digestats analysés, ils permettent néanmoins de constater les faibles teneurs pour les substances réglementées.

Les produits entrant sont naturels donc les risques de contamination en CTO sont très faibles.

Ce tableau démontre l'innocuité de ces produits compte tenu des faibles flux entrant et sortant. Malgré cela des analyses régulières seront réalisées sur les digestats.

11.5.2.5. LA METHANISATION ET LES METAUX LOURDS

« La toxicité des métaux, et notamment des métaux lourds, est liée non seulement à leur concentration, mais aussi et surtout à la forme (ou « spéciation ») dans laquelle ils se trouvent. Seule la forme libre du métal comporte un risque de toxicité, et la concentration en métaux solubles n'est généralement que de 0,5 à 4 % de la concentration totale en métaux. La digestion anaérobie ne détruit pas les métaux, mais elle modifie leur spéciation par différents mécanismes chimiques et, surtout, biologiques ». Christian Couturier Solagro juillet 2002



Comme pour les pathogènes les produits entrants sont naturels donc pauvres en métaux lourds. Un suivi des teneurs en métaux lourds dans les sols (point zéro et au bout de dix ans) est réalisé ainsi que des analyses du produit sortant.

Etant donné le stade du projet, nous n'avons pas de valeurs en éléments traces métalliques pour cette installation, les analyses réalisées lors du suivi préciseront cela. Une synthèse d'analyses réalisées sur différents digestats issus d'unités diverses réalisée par l'Ademe en Octobre 2011 donne les résultats suivants.

Tableau 33 : Teneurs en éléments traces métalliques des digestats en fonction de l'origine des déchets

Teneurs en élément trace métallique des Digestats en fonction de l'origine des déchets

Ademe Octobre 2011
mg/kg de matière sèche

Substrat méthanisé	Cadmium (Cd)		Chrome (Cr)		Cuivre (Cu)		Mercure (Hg)		Nickel (Ni)		Plomb (Pb)		Zinc (Zn)	
	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi
BTU	0.1	5.0	13	89	117	789	0.41	2.78	13	115	16	242	246	2164
FFOM composté	0.5	0.8	26	28	50	79	0.13	0.14	18	18	69	84	242	248
Biodechets +DV	0.1	0.4	20	20	35	47			13	13	2	46	56	113
Valeurs de références	10		1000		1000		10		200		800		3000	
Flux maximal autorisé en dix ans mg/m ²	15		1500		1500		15		300		1500		4500	
Quantité de matière sèche possible kg/m ²	38		77		32		107		23		33		40	
Quantité de matière sèche possible T/ha	375		765		317		1071		234		327		397	

BTU : Boues issues du Traitement des eaux Usées urbaines
DV : Déchets verts
FFOM : Fraction Fermentescible issue des Ordures Ménagères résiduelles (OMr)

Les digestats provenant des bio-déchets et déchets verts (cf tableau ci-dessus) donnent des résultats toujours largement inférieurs aux autres substrats et très éloignés des valeurs maximales de référence autorisées pour ces produits. Ici, le gisement s'apparente à des biodéchets et en prenant les résultats maximaux et les flux maximaux autorisés sur dix ans, il serait possible d'en épandre 234 t de MS.

En prenant l'hypothèse d'un digestat ayant des valeurs égales aux teneurs maximales et avec 22% de matière sèche du digestat solide il serait possible d'épandre 1064 t de digestat en dix ans. Il est prévu des doses de 12 à 25 tonnes environ tous les deux ans donc largement inférieur aux 1 064 t théorique maximal. Ceci sera conforté par les analyses et le suivi régulier réalisé lors du suivi du plan d'épandage.



CONCLUSION

Le projet consiste à créer une unité de méthanisation qui permettra de recycler les matières organiques provenant essentiellement d'effluents organiques et des cultures énergétiques produits par les exploitations. Le digestat sera épandu sur les terres agricoles de 27 exploitations agricoles appartenant au plan d'épandage.

Le produit permettra aux agriculteurs de bénéficier d'un engrais organique facilement utilisable par les plantes qui se substituera pour partie aux engrais minéraux. Le digestat est un produit peu odorant.

Le plan d'épandage présente des bilans déficitaires en azote et phosphore. L'apport en azote/ha SAU lié aux apports de digestat représentera 21 unités d'azote organique/ha total.

Les épandages se feront en priorité au printemps avant l'implantation des cultures de printemps ou sur céréales d'hiver et CIVE en place. Ils pourront être complétés par des apports en août et début d'automne avant l'implantation des colzas, des CIPANs et avant l'implantation d'une partie des CIVEs voire avant l'implantation de céréales en dernier recours.

Des habitations sont présentes à proximité des parcelles mais les distances d'épandage seront respectées.

Sur les parcelles interceptées par un PPR interdisant l'épandage de digestat liquide, seul l'épandage du digestat solide sera autorisé et les épandages seront réalisés uniquement :

- au printemps avant l'implantation de cultures de printemps à une dose maximum de 20 t MB/ha,

- l'été dès la moisson (à partir de mi-juillet) et avant l'implantation de colza d'hiver semé suffisamment tôt, à une dose maximum de 15 t MB/ha.

Les apports reviendront en moyenne une fois tous les 3 ans sur la même parcelle à des doses optimales pour les cultures permettant de limiter les risques de lessivage. La surface importante du plan d'épandage offre une grande souplesse dans le choix des parcelles et cultures réceptrices pour optimiser les apports. Le prestataire de service réalisant les épandages est spécialisé dans l'épandage des digestats.

Le plan d'épandage a été créé de façon à épandre les effluents en évitant au maximum de porter atteinte à l'environnement. Les épandages respecteront le programme d'action de la directive Nitrates sur les dates et doses d'apport.

Sébastien BARON
Responsable équipe
Grandes Cultures - Fourrages



ANNEXES

- ANNEXE 1 : ARRETE DU 12 AOUT 2010 MODIFIE PAR ARRETE DU 17 JUIN 2021
- ANNEXE 2 : CONVENTIONS D'EPANDAGE
- ANNEXE 3 : DESCRIPTIF DES SITES ENVIRONNEMENTAUX
- ANNEXE 4 : EXTRAIT DU 6EME PROGRAMME DE LA DIRECTIVE NITRATES
- ANNEXE 5 : TYPOLOGIE DE SOL
- ANNEXE 6 : ANALYSES AGRONOMIQUES ET EN METAUX LOURDS DES SOLS
- ANNEXE 7 : CARTES D'APTITUDES, TABLEAU D'EPANDAGE
- ANNEXE 8 : EXTRAIT DU REFERENTIEL EQUIVALENCE ENGRAIS
- ANNEXE 9 : BILANS PAR EXPLOITATION



ANNEXE 1



ANNEXE 2



ANNEXE 3



ANNEXE 4



ANNEXE 5



ANNEXE 6



ANNEXE 7



ANNEXE 8



ANNEXE 9

