

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
2. METHODOLOGIE	2
2.1. PARAMETRES LIES A LA PRODUCTION DE LIXIVIATS	2
2.2. PRINCIPE DES CALCULS	3
2.2.1. LA RFU	4
2.2.2. ÉVOLUTION DE LA RFU	4
3. PARAMETRES UTILISES POUR LE BILAN	5
3.1. LES PARAMETRES CLIMATIQUES	5
3.1.1. PLUVIOMETRIE	5
3.1.2. ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE	6
3.2. ÉVOLUTION SPATIALE DE L'EXPLOITATION EN 2023	7
3.3. TRANSFERTS D'EAU	8
3.3.1. ABSORPTION ET APPORTS D'EAU PAR LES DECHETS	8
3.3.2. QUALITE DU FOND ET DES FLANCS DES CASIERS DE STOCKAGE	8
3.3.3. APPORTS LATERAUX	8
3.4. DISPOSITIF DE DRAINAGE ET D'EXHAURE DES LIXIVIATS	8
4. RESULTATS	9
4.1. CALCULS DE LA PRODUCTION THEORIQUE DE LIXIVIATS	9
4.1.1. PRODUCTION POUR CHAQUE ETAT DE SURFACE	9
4.1.2. PRODUCTION THEORIQUE	10
4.2. VOLUMES DE LIXIVIATS EXTRAITS	10
4.2.1. TRAITEMENT DES LIXIVIATS	10
4.2.2. STOCK DANS LES LAGUNES	10
4.2.3. ÉVOLUTION DU VOLUME DE LIXIVIAT DANS LES BASSINS	10
5. BILAN ET CONCLUSION	11

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'auto-surveillance et du suivi des effluents générés par une Installation de Stockage de Déchets, il s'agit d'établir le bilan global de la production de lixiviats pour l'année 2023 du site de Gadji dans la commune de Païta.

L'objectif est de vérifier l'efficacité des dispositifs mis en place pour intercepter et soutirer les lixiviats en comparant les volumes réellement extraits avec ceux qui sont estimés d'une manière théorique à partir d'un modèle de calcul prédictif dans lequel sont entrés les paramètres climatiques du lieu et les conditions d'exploitation et de gestion du site.

La présente note technique est relative à l'**année 2023** pour l'ensemble de l'exploitation.

Les données recueillies ont été prises à la station Météo France de Nakutakoin (la plus proche du site)

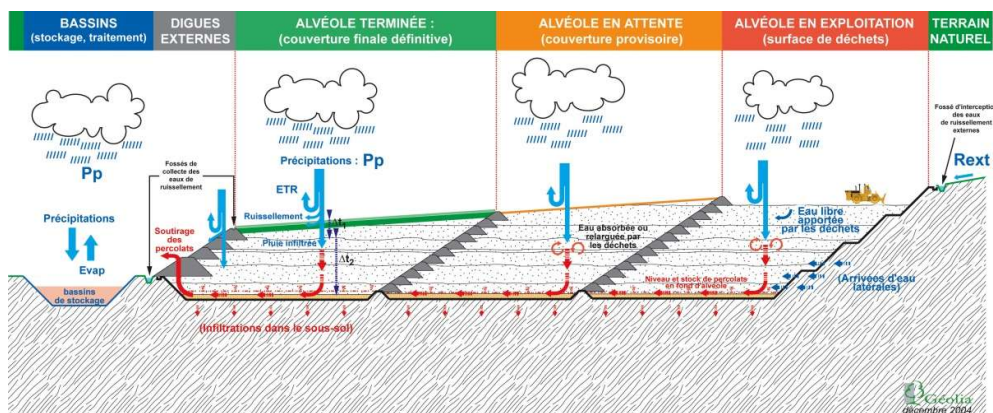
2. METHODOLOGIE

2.1. PARAMETRES LIES A LA PRODUCTION DE LIXIVIATS

Les lixiviats sont générés par les apports d'eau qui sont mis au contact avec les déchets, il s'agit principalement de la part des eaux météoriques qui percolent dans les masses des déchets mais aussi des quantités d'eau qui peuvent être contenues ou amenées dans les déchets avant la mise en stockage.

Les quantités d'effluents produits qui seront à capter et à évacuer sont fonction (cf. schéma de principe ci-dessous) :

- de la part de la pluie brute qui peut percoler dans les déchets,
- de la qualité des déchets (pouvoir d'absorption ou de relargage d'eau),
- des aménagements et du mode d'exploitation, notamment :
 - les superficies des aires de stockage de déchets et,
 - la qualité des surfaces et des couvertures de protection (provisoires et définitives) qui sont mises en place sur les alvéoles dans le but de limiter les infiltrations,
- des délais de percolation de l'eau infiltrée au travers des couvertures et des masses de déchets,
- et de l'efficacité des dispositifs qui ont été mis en oeuvre pour drainer, collecter et évacuer les lixiviats.

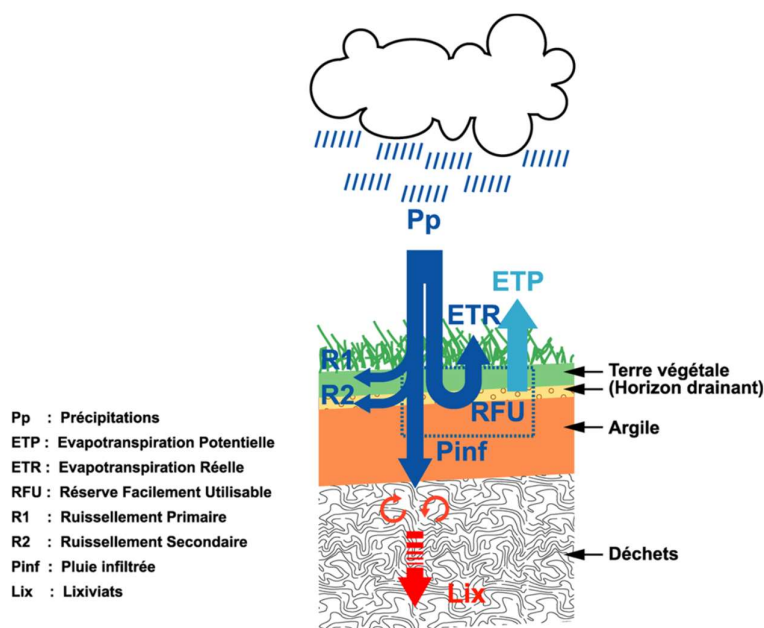


2.2. PRINCIPE DES CALCULS

Les évaluations de volumes présentées ci-après sont obtenues à partir d'un modèle de calcul de bilan hydrique prédictif qui permet d'évaluer les infiltrations d'eaux météoriques dans les masses de déchets en fonction des caractéristiques des couvertures, du type de déchets et des conditions naturelles du site (climatologie et hydrogéologie).

Il est basé sur le principe d'un modèle de bilan hydrique utilisé en agronomie qui fonctionne avec un pas de calcul décadaire (période de 10 jours).

Cette méthode s'appuie : sur un bilan des entrées et des sorties d'eau dans les premiers décimètres d'un sol (généralement 70 cm).



2.2.1. LA RFU

Dans cet horizon superficiel, on considère un "réservoir tampon" appelé **RFU** (Réserve Facilement Utilisable) dont la capacité est fonction de la qualité des sols.

Ce volume max d'eau tampon qui peut être stocké (RFU max) dans le sol avant de générer une percolation d'eau par gravité est calculé sur la différence de volume entre :

- la capacité au champ ; c'est-à-dire la quantité d'eau que peut retenir un matériau sans aucun écoulement (phénomène de l'éponge) et,
- le point de flétrissement ; c'est-à-dire la quantité d'eau qui ne peut plus être soutirée du matériau par les plantes et les phénomènes d'évaporation vers l'atmosphère.

2.2.2. ÉVOLUTION DE LA RFU

2.2.2.1. APPORTS A LA RFU

Il s'agit de la pluie qui tombe ici sur les surfaces de l'exploitation.

Cet apport peut être diminué avec les quantités d'eau qui peuvent ruisseler et ainsi ne plus poursuivre leur percolation verticale dans le sol.

On considère généralement deux types de ruissellement :

- **le ruissellement primaire** : il n'apparaît que lors de phénomènes pluvieux importants : lorsque l'intensité de la pluie est supérieure au pouvoir d'infiltration de la terre végétale et,
- **le ruissellement secondaire** qui apparaît au contact de la terre végétale et la couche sous-jacente lorsque cette dernière a une plus faible perméabilité. La perméabilité de ce niveau peut constituer, en effet, un facteur limitant à la quantité de pluie qui a pu traverser la terre végétale.

2.2.2.2. VOLUMES SOUSTRAITS A LA RFU

Comme nous l'avons vu précédemment, la RFU constitue un "réservoir tampon" qui peut retenir de l'eau généralement sous forme pelliculaire (molécules collées sur les éléments du sol).

Cette eau peut donc retourner vers l'atmosphère sous l'effet des phénomènes d'évapotranspiration : elle est alors appelée Évapotranspiration Réelle (ETR).

L'ETR peut être calculée en fonction de l'état du stock d'eau disponible dans la RFU et du potentiel évapotranspiratoire « l'Évapotranspiration Potentielle » ou ETP.

L'évapotranspiration potentielle est fonction des conditions atmosphériques (humidité de l'air, température, vitesse du vent, ensoleillement, etc.) et du type de végétation.

Plusieurs formules empiriques permettent d'évaluer l'évapotranspiration potentielle (Turc, ThornWaite, Penmann, etc.).

Pour les calculs, nous avons utilisé les valeurs calculées par METEO FRANCE qui utilise la méthode " Penmann-Monteih".

Pour chaque période de 10 jours ou décade, le bilan est fait en considérant l'évolution du volume de la RFU à partir :

- de l'état de remplissage initial de cette dernière à la fin de la décade précédente,
- des apports des précipitations (Pp) auxquelles a été soustrait le ruissellement primaire.

Ensuite, on en déduit l'Évapotranspiration Réelle (ETR) avec les conditions suivantes :

- $ETR = ETP$ lorsque que le résultat du bilan " $RFU_{initiale} + (Pp-R1)$ " est supérieur ou égal à l'ETP avec une valeur maxi du terme " $RFU_{initiale} + (Pp-R1)$ " égale à la RFU_{max} sinon ;
- $ETR = RFU_{initiale} + (Pp-R1)$ avec une valeur de l'ETR limitée à la valeur de l'ETP.

Dans les calculs, les valeurs de l'ETP sont corrigées d'un coefficient de 0,8 à 1,0 pour prendre en compte l'absence ou la densité de végétation sur les divers états de surface.

3. PARAMETRES UTILISES POUR LE BILAN

3.1. LES PARAMETRES CLIMATIQUES

3.1.1. PLUVIOMETRIE

Les précipitations sont enregistrées en continu grâce à un pluviomètre automatique situé sur un site de NAKUTAKOIN par une station de METEO FRANCE. (cf. Figure 1).

La hauteur totale des précipitations relevées sur le site pour l'ensemble de l'année 2023 est de 1 389.5 mm.

Sur le tableau et le graphique de la Figure 1, on peut constater que l'année 2023 a connu un excédent pluviométrique important par rapport à la moyenne de ces 10 dernières années (1146.8 mm pour la période des années 2013 à 2023).

Figure 1 : tableau et graphique précipitations 2023

Sur le graphique de la Figure 2, on observe quelques disparités décadaires avec des épisodes particulièrement pluvieux (en février, mars, avril, septembre) et plusieurs épisodes secs (février, mai, juin, juillet, novembre, décembre)

Figure 2 : précipitations décadaires 2023

3.1.2. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Il s'agit des transferts d'eau du complexe « sol - végétation » vers l'atmosphère.

Si, l'évapotranspiration réelle (quantité d'eau qui retourne réellement vers l'atmosphère) ne peut pas être mesurée directement sans un appareillage sophistiqué, l'évapotranspiration potentielle peut être calculée à partir de nombreux paramètres (température, ensoleillement, vent, etc...)

Les valeurs de l'ETP « méthode Penman » ont ainsi été calculées par Météo France avec les paramètres climatiques de la station de Nakutakoin.

Pour l'année 2023, la valeur de l'**évapotranspiration potentielle est ainsi de 1122.7 mm.**

Elle est donc globalement inférieure à la moyenne des 10 dernières années (1317.6 mm).

Pour l'année 2023, l'Evapotranspiration Potentielle est déficitaire par rapport aux précipitations (delta d'environ -266.8 mm).

Sur le graphique de la Figure 4, on peut s'apercevoir qu'à l'échelle des décades, le bilan hydrique est excédentaire de 66% sur l'année (12 décades sur 36).

Figure 3 : *tableau et graphique ETP 2023*

Figure 4 : *tableau et graphique précipitations et ETP 2023*

L'année 2023 se caractérise donc par un excédent pluviométrique.

Au regard de la Figure 4, on peut constater que les valeurs ETP sont comprises entre 14.8 mm et 67.9 mm/décade, alors que la pluviométrie varie de 0.2 à 211.1 mm/décade. Les écarts des données entre les précipitations et les données ETP nous montrent que les volumes de lixiviats recueillis dans le bassin de stockage sont fortement liés à ces données de précipitations.

3.2. EVOLUTION SPATIALE DE L'EXPLOITATION EN 2023

Au cours de l'année 2023, l'installation a traité un peu plus de 128 000 tonnes de déchets. Ce tonnage est constitué de déchets d'origine ménagères (ordures ménagères, encombrants et déchets verts), de déchets industriels banals et de cendres.

Le stockage des déchets a été effectué dans

- L'alvéole E1 puis à compter de juillet dans E2.

Le casier A est en couverture finale. Les casiers B et C sont quant à eux en couvertures finales sur la moitié Sud, le Nord étant en couvertures provisoires car l'exploitation du casier E reviendra s'y appuyer.

Le casier D est en couverture intermédiaire également. Le chantier de couverture finale a commencé en 2023.

Différentes caractéristiques peuvent être présentes sur les installations de stockage :

- des surfaces en "couverture finale" :
 - Celles des zones dites "anciennes" qui représentent l'ancienne décharge. Elle a été entièrement réaménagée avec une couverture en argile d'une perméabilité de l'ordre 5.10^{-8} m/s et de 0,5 mètre d'épaisseur. Cette couche est surmontée par un horizon de terre végétale de 0,3 mètre d'épaisseur.
 - Celles des casiers dont l'exploitation est terminée (atteinte de la cote finale). La couverture définitive retenue est une couverture minérale constituée de bas en haut :
 - d'une couche de forme en matériaux tout venant d'une épaisseur de 30 cm,
 - d'une couche d'argile compacté ($k < 1.10^{-8}$ m/s) d'une épaisseur de 60 cm,
 - d'un géosynthétique de drainage,
 - d'une couche de terre végétale d'une épaisseur de 30 cm.
 - Les voies d'accès. Elles peuvent être goudronnées ; elles sont donc considérées comme imperméables dans ce cas. Aucune voie d'accès de ce type n'est présente sur le site.
- Des surfaces en "couverture intermédiaire" :

Lorsqu'un niveau d'exploitation d'une alvéole est terminé, une couche de matériaux est mise en place pour éviter les envols, les mauvaises odeurs et favoriser l'évapotranspiration ainsi que le ruissellement. Cette zone correspond au casier D.

- Des surfaces en "couverture provisoires", recouvertes mais qui feront l'objet de décapages pour complément en déchets afin d'atteindre la cote finale, (cas des casiers B et C sur la moitié Nord)
- **une surface en déchets "nus"**: Il s'agit de la zone en exploitation, correspondant aux alvéoles E1 et E2 tour à tour.
- **et, les surfaces des digues extérieures** qui recouvrent la périphérie de plusieurs secteurs de l'exploitation.

3.3. TRANSFERTS D'EAU

3.3.1. ABSORPTION ET APPORTS D'EAU PAR LES DECHETS

Dans un premier temps, les déchets exposés aux précipitations sont capables d'absorber de l'eau, l'humidité initiale du déchet (poids de l'eau / poids total) qui est de l'ordre de 30 % peut ainsi augmenter de 5 à 15 %.

Ensuite, la dégradation des déchets fermentescibles en milieu anaérobie produit du méthane et du gaz carbonique.

Cette transformation de la matière organique nécessite une consommation d'une partie de l'eau contenue dans les déchets.

Puis, sous l'effet de compression liée à la hauteur des déchets, on peut observer un phénomène de relargage par "essorage".

Dans la simulation, nous avons considéré une absorption globale de 2 % afin de prendre en compte la proportion moyenne d'ordures ménagères et une hauteur de déchets assez importante.

3.3.2. QUALITE DU FOND ET DES FLANCS DES CASIERS DE STOCKAGE

Les alvéoles sont aménagées avec un dispositif d'étanchéité – drainage comportant une géomembrane en PEHD de 2 mm et un géosynthétique bentonitique qui constitue la barrière active. De plus une barrière dite passive, constituée d'un substratum argileux, est mise en place. Il n'y a donc pas d'infiltration de lixiviats dans le sous-sol.

3.3.3. APPORTS LATERAUX

L'étanchéité des alvéoles permet d'éviter tout apport extérieur d'eaux souterraines dans les déchets

3.4. DISPOSITIF DE DRAINAGE ET D'EXHAURE DES LIXIVIATS

Le dispositif de drainage des lixiviats du site est constitué de drains en PEHD reposant sur un massif drainant dans chaque alvéole. Les lixiviats sont ainsi drainés gravitairement vers les bassins de stockage. Un poste de relevage (mis en service en décembre 2020) permet ensuite de transférer les lixiviats vers l'unité de traitement des lixiviats par osmose inverse. Le traitement est réalisé par campagne jusqu'à épuisement du stock.

4. RESULTATS

4.1. CALCULS DE LA PRODUCTION THEORIQUE DE LIXIVIATS

4.1.1. PRODUCTION POUR CHAQUE ETAT DE SURFACE

Cette production est évaluée à partir des calculs de **la pluie infiltrée** par décade ; c'est-à-dire la part de la pluie brute qui peut s'infiltrer pour chacun des états de surface qui ont été décrits ci-dessus, après soustraction du ruissellement et de la reprise par évapotranspiration qui s'effectue dans les premiers décimètres du sol (cf. tableaux des Figures 5 et 6).

On s'aperçoit ainsi, que pour l'année 2023, la part de pluie infiltrée est de :

- 308 mm (3 080 m³ par hectare) pour les surfaces de type prairie
- 963.1 mm (9 631 m³ par hectare) pour la surface en déchets nus ou dans l'alvéole d'exploitation,
- 85 mm (850 m³ par hectare) pour les surfaces en couverture provisoire,
- 125.8 mm (1 258 m³ par hectare) pour les surfaces en couverture finale en argile et pour les surfaces de déchets recouvertes par des digues

Seules les valeurs représentatives des surfaces susceptibles d'être présentes sur le site sont reprises ci-dessus.

Figure 5 : tableau "calcul pluie infiltrée"

Figure 6 : tableau "calcul pluie infiltrée" suite

4.1.2. PRODUCTION THEORIQUE

La production théorique peut alors être évaluée en affectant ces valeurs aux surfaces réelles des entités du site de l'exploitation et en y ajoutant la part des infiltrations liées aux eaux de ruissellement non détournées.

On obtient ainsi, pour l'année 2023, une production théorique totale de 20 462 m³ de lixiviats pour l'ensemble du site.

Figure 7 : bilan

4.2. VOLUMES DE LIXIVIATS EXTRAITS

4.2.1. TRAITEMENT DES LIXIVIATS

Au cours de l'année 2023, 33 878 m³ ont été traités pour un rejet de 22 554 m³ de perméats. Ce traitement a duré toutes les années 2022 et 2023 en continu :

Année	Volume lixiviat traité	Volume perméats	Déroulement campagne	
	m ³	m ³	Date début	Date fin
2023	33 878	22 554	31/12/2022	03/01/2024

4.2.2. STOCK DANS LES LAGUNES

En janvier et décembre 2023, les niveaux du bassin lixiviat était respectivement de 4 510 m³ et de 915 m³.

4.2.3. EVOLUTION DU VOLUME DE LIXIVIAT DANS LES BASSINS

Sur l'année 2023, la reprise par évaporation est de 4 885.1 m³, et les apports directs pluviométriques 13 845.5 m³. Ainsi on peut donc considérer, un apport global de près de 8 960.4 m³.

Figure 8 : Bilan sur bassin et traitement

Ainsi, en 2023, la différence entre la reprise par évaporation et les apports pluviométriques sur le bassin est estimée à +8 960.4 m³.

5. BILAN ET CONCLUSION

Pour l'année 2023, **le calcul théorique de la production de lixiviats** pour l'ensemble du site est :

= Volume production lixiviats + apports complémentaires – volume de reprise par évaporation et apports directs

$$= 20\,462 + 8\,960 = \mathbf{29\,422\,m^3}$$

Volume capté :

= volume traité + variation stock bassin entre fin d'année N et début N

$$= 33\,878 + 915 - 4\,510 = \mathbf{30\,283\,m^3}$$

L'incertitude sur ce résultat théorique est d'environ 3 % en considérant les erreurs possibles sur le coefficient d'absorption, les caractéristiques hydrauliques des déchets et les valeurs utilisées pour la perméabilité des couvertures.

Dans ces conditions, le bilan hydrique permet de dire que les dispositifs de captage et d'évacuation des lixiviats sont opérationnels et efficaces.