Concrétiser la valorisation agronomique de l'urine humaine

Tests en plein champ sur une parcelle de vigne durant 2 saisons

AVANT PROPOS

Constat

Grands enjeux sur la ressource en amont

La France connaît des épisodes de sécheresse très préoccupants ces dernières années. A l'automne 2017, une majorité des départements de l'Hexagone est encore concernée par des restrictions liées à la sécheresse et plus d'un tiers des départements ont des communes ayant un niveau de restriction allant jusqu'à la «crise». Cette situation particulièrement marquée fait suite à d'autres épisodes de déficit pluviométrique au cours des dernières années qui rend indispensable la réflexion sur des solutions plus rationnelles d'utilisation de l'eau, en particulier en améliorant le recyclage des eaux issues des usages domestiques.

Les eaux usées domestiques transportent des éléments dont certains sont des nutriments pour les plantes. C'est le cas de l'azote et du phosphore en particulier, dont une grande part (environ 70%) est éliminée dans les urines. Ces éléments sont peu ou mal retirés des eaux usées par les traitements classiques, et portent une grand part de la responsabilité de l'empreinte écologique de nos activités, on compte par exemple que l'élimination de l'Azote représente près de 50% de la consommation énergétique des stations, le Phosphore quant à lui est difficile à éliminer autrement que chimiquement. En conséquence, une séparation à la source de N et P a l'intérêt de limiter l'empreinte de la station d'épuration et de valoriser directement des nutriments accessibles.

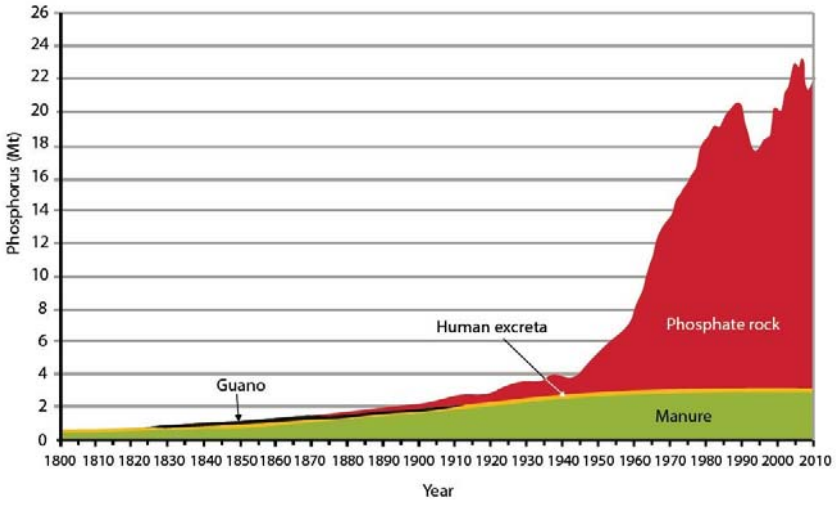
Le développement de toilettes séparatives aurait donc un impact majeur pour limiter d'une part la pression sur notre ressource en eau et d'autre part les importations d'engrais conventionnels. Le projet de la Scop Ecosec est de développer des toilettes qui séparent les effluents à la source, qui ne nécessitent pas l'ajout de matières carbonées et dont le confort d'utilisation est identique aux toilettes classiques, puis de développer des filières de recyclages.

Ecosec a développé un éventail de toilettes sèches pour tout type de clientèle : privé, public, festival, sites isolés, particuliers, etc …

Circuits courts de Nutriments en aval

Le phosphore est l'un des principaux éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour convertir l'énergie solaire et le CO2 en composés organiques indispensables à la vie sur terre. Les stocks de phosphore sont principalement utilisés pour la fabrication des engrais et sont donc indispensables à l'agriculture mondiale comme fertilisant.

Depuis le milieu du 19ème siècle, l'**exploitation minière des gisements de phosphates** naturels a eu un rôle crucial. En effet, l'engrais phosphaté et, dans une plus large mesure, l'engrais azoté ont permis à la production alimentaire de suivre le rythme de croissance continuelle de la population mondiale. Nourrir toute la population mondiale en plein boom, va nécessiter de grandes quantités de phosphore car les phosphate sont encore aujourd'hui la base des engrais permettant de **hauts rendements agricoles.**



On voit sur ce schéma que le phosphore d'origine minière explose vers 1950.

Les sources naturelles de phosphore (fumier, guano, excréments humains) pourraient voir un pic de production d'ici 2030. © Cordel *et al.*, 2009

Opportunité

Le problème de l'eau et son traitement

En France, les particuliers consomment chaque année 6 milliards de mètres cubes d'eau. Les chasses d'eau des toilettes représentent 30% de ce volume. Chaque individu passe aux toilettes 4 à 7 fois par jour, essentiellement pour uriner. Dans ce cas, 10 litres d'eau potable sont pollués par 150 ml d'urine. Ce mélange devient un déchet qu'il faudra acheminer puis traiter en station d'épuration.

Avec la croissance démographique les prévisions estiment que la capacité des stations d'épuration à gérer les effluents sera outrepassée dans les années à venir, particulièrement en milieu urbain.

Au vu de ces éléments, il apparait impératif de proposer des mesures de réduction de consommation d'eau et des solutions de valorisation des effluents.

Une alternative nécessaire aux engrais traditionnels non durables

Les engrais NPK (azote, phosphore, potassium) traditionnellement utilisés en agriculture ne sont fondamentalement pas durables. L'azote est fixé de sa forme atmosphérique par une réaction hautement consommatrice d'énergie (1 tonne d'équivalent pétrole par tonne d'N). Le phosphate est extrait de mines, dont on estime qu'on atteindra le pic de production entre 2030 et 2050 suivant les sources. Si rien n'est fait, une explosion du prix des engrais est à prévoir dans les décennies à venir. Cette situation pourrait provoquer des conditions propres à développer une situation similaire à celle qui avait donné lieu aux émeutes de la faim vécues en 2008.

L'urine est aujourd'hui considérée comme un déchet. Elle contient pourtant la majorité des nutriments rejetés par notre corps (90, 65 et 75% pour l'azote, le phosphore et le potassium respectivement). Son potentiel fertilisant a été démontré à de nombreuses reprises. Chaque année, un adulte produit en moyenne 500L d'urine, ce qui serait suffisant pour fertiliser la production de céréales qu'il consomme sur la même période. Malgré cela, les urines continuent d'être évacuées dans les eaux usées. Elles représentent 80% du phosphate pour 1% de leur volume total, mais absorbent 50% du coût de traitement en station d'épuration.

Ecosec, entreprise engagée dans la transition écologique

Ecosec est une PME Montpelliéraine qui conçoit et réalise des toilettes sèches qui ont la particularité de ne consommer ni eau, ni sciure et qui permettent la séparation des fèces et des urines. Comme pour le tri des déchets ménagers, cette séparation à la source autorise un recyclage optimal des eaux usées.

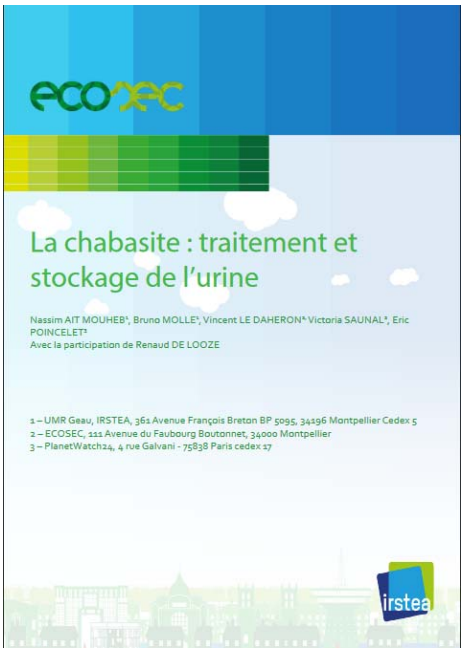
Ecosec composte la totalité des fèces récupérées sur le domaine agricole de la Condamine. Il n'existe cependant en France encore aucune solution adaptée à la revalorisation des urines, malgré leur potentiel agronomique. C'est pourquoi l'entreprise a entrepris en 2016 des travaux de R&D sur la fabrication d'engrais à base d'urine.

En application d'un principe de précaution élémentaire, Ecosec a conduit en 2016-2017 plusieurs études sur 1) des bacs hors sol sur la plateforme de l'IRSTEA qui ont permis de valider différents points avant de proposer une étude en plein champs, 2) une roche volcanique appelée Chabasite, aux propriétés très intéressantes vis-à-vis du stockage de l'azote et 3) une étude sur toutes les institutions Françaises travaillant sur la valorisation des effluents humains/

Les conclusions principales de ces études ont été les suivantes :

- Les nutriments contenus dans l'urine sont en quantités et particulièrement Biodisponibles pour les plantes. L'urine humaine peut donc être considérée comme un fertilisant puissant pouvant se substituer aux engrais synthétiques
- La fert-irrigation à l'urine présente un risque de salinisation des premières couches de sol, sans pour autant provoquer un excès préjudiciable pour les cultures
- Le test pendant plusieurs mois de différents systèmes d'irrigation goutte-à-goutte a permis de montrer la plus forte sensibilité au colmatage des goutteurs de type auto-régulant
- Associée à une biomasse végétale, la Chabasite est un substrat idéal et favorise une croissance des plantes optimales, tout en permettant un stockage de l'azote valorisé ensuite par les plantes selon leur besoins

Cliquer sur les images pour accéder aux études.



Quel intérêt d'Ecosec et ses partenaires à revaloriser l'urine ?

Cette activité représente un axe de développement stratégique pour l'entreprise et ses partenaires. Elle lui permet de se démarquer de la concurrence en proposant un service de recyclage complet des fèces et urines. Le client peut ainsi afficher sa démarche éco-engagée et participer à transition écologique. Ce type de travail ouvre la voie à de nombreux développement vers les éco-quartiers, ou l'agriculture urbaine.

A plus long terme, avec la raréfaction des phosphates et du pétrole, les solutions de recyclage des nutriments de l'urine vont se substituer à la production industrielle d'engrais synthétique. Sur la campagne 2015/2016, la France a consommé près de 9 millions de tonnes d'engrais (Azote, phosphore et potassium confondus) pour une valeur totale de 2,5 milliards d'euros. Chaque année, l'urine évacuée dans les eaux usées représente l'équivalent de 284 000 tonnes d'azote perdues, soit un équivalent d'une valeur marchande de plus de 85 millions d'euros, sans parler des coûts de traitement évités. On estime que la totalité des nutriments rejetés de la sorte pourrait couvrir entre 15 et 20% de la demande nationale s'ils étaient récupérés.

Ecosec souhaite se positionner dès à présent comme un des experts français de la collecte et de la valorisation de cette ressource encore inexploitée.

Pourquoi monter un projet de R&D à ce sujet ?

Valoriser l'urine en agronomie soulève encore plusieurs questions :

- Peut-on proposer une solution de collecte de l'urine simple, économique, socialement et énergétiquement acceptable ?
- Peut-on transformer l'urine simplement de façon à la rendre hygiénique, stable et réduire son volume ?
- Peut-on fertiliser les cultures à l'urine sans risques de pollution des sols ou de dégradation du matériel agricole ?
- Peut-on fertiliser les cultures à l'urine sans dégrader la qualité et la quantité de la production ?
- Peut-on proposer une équation économique permettant de rendre la technique intéressante pour un passage à l'échelle?

Ecosec souhaite mettre sur pied la 1ère filière pilote française de valorisation agronomique de l'urine humaine sur des vignes. Elle permettra, en collaboration avec nos partenaires, de répondre à ces questions par des expérimentations en plein champ sur une parcelle viticole test du Domaine de la Jasse. Le plan d'action se déroulera en 4 phases tel que décrit ci-après.

Plan d’action

Grande lignes de l’étude

Après avoir collecté et analysé l’ensemble de la Bibliographie sur le sujet, les différentes phases de cet étude sont les suivantes :

Grandes Phases	Action	Entité
Phase 1 Amont	Installation cabine centre de Combaillaux	Ecosec
	Test d'acceptabilité	Ecosec
Phase 2 Transformation	Evaluation temps de stockage pour hygiénisation	Ecosec / Irstea
	Nitrification des urines	IEM
	Distillation	IEM
	Extraction de struvite	IEM
	ACV - Analyse économique d'un passage à l'échelle sur chaque technique	IEM
Phase 3 Valorisation sur 2 saisons de production	1 ligne seulement eau	Ecosec / Irstea
	1 ligne eau + urine pure	Ecosec / Irstea
	1 ligne eau + urine nitrif - distillée	Ecosec / Irstea
	1 ligne eau + struvite épandue à la main	Ecosec / Irstea
	1 ligne eau + engrais conventionnel minéral	Ecosec / Irstea
Phase 4 Analyse	Suivi Sol : Ph, humidité, azote, phosphore, salinité	Ecosec / Irstea
	Suivi plantes : Qté fruit / poids / goût / impact sel / vinification	Ecosec / Irstea
	Suivi colmatage	Ecosec / Irstea
	Etude économique de passage à l'échelle	Ecosec / Irstea / IEM

Lieu de l'étude :

La ville de Combaillaux compte environ 1500 habitants pour une surface de 9.1 km^2. La ville utilise en moyenne 120 m^3/jour et en rejette 110 m^3/jour. Le traitement s'effectue dans la station unique et innovante de Lombri-station (station d'épuration par les Lombri-filtration) qui minimise grandement l'impact des déchets d'origine anthropique sur sont environnement.

Cette station d'épuration nouvelle génération traite les eaux usées ainsi que les déchets ce qui la rend motrice dans les problématiques d'économie circulaire et de diminution de l'impact humaine sur son environnement.

Le domaine de la Jasse

En 2008, le domaine de la Jasse d'une surface de 55 hectares est vendu à Mr Le Breton. Celui-ci ne cesse depuis de développer une politique en faveur de la Responsabilité Sociétale des Entreprise (RSE) mais aussi la Haute Valeur Environnementale (HVE).

En 2013 le domaine est certifié HVE et ISO 26000 et devient le premier domaine familial viticole certifié RSE en France.

Fort de ses 12 employés expérimentés le domaine de la Jasse continue à ce jour à se démarquer par ses pratiques avant-gardiste permet de réduire les impacts sociaux et environnementaux.

Durée de l'étude :

La période durant laquelle sera effectuée l'expérimentation équivaut à deux saisons complètes de fertilisation / production de la vigne.

Nous souhaitons commencer les essais début Mai 2018 afin de pouvoir libérer la parcelle fin Septembre 2019. Ce pas de temps nous permet d'évaluer avec beaucoup plus de certitude l'impact de ce type de fertilisant sur le matériel, la production mais aussi la qualité du produit fini..

Phase 1 : Installation du système de collecte des urines & analyses qualitatives et sanitaires

Etude de faisabilité, choix des emplacements, et pose des urinoirs et toilettes sèches

L'étude de faisabilité vise à analyser le contexte technique et social de trois sites pertinents à l'installation des systèmes de collecte sur la commune de Combaillaux (nord-est de Montpellier) : l'école, la place commerçante du village, et le stade municipal. L'étude se fera en concertation avec la mairie et portera plus particulièrement sur les aspects suivants :

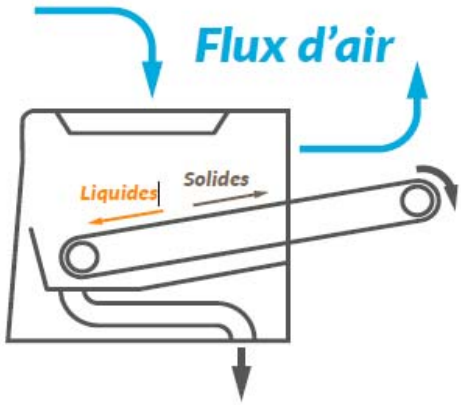
- Etude de la fréquentation du site : fréquence et amplitude de l'affluence, type d'utilisateur.
- Analyses des risques de nuisances : risque de gêne des activités du lieu, acceptabilité des utilisateurs.
- Analyse de l'ergonomie du lieu : facilité d'accès, d'installation/désinstallation et maintenance.

Après étude, les toilettes seront installées. Il s'agira d'urinoirs permettant la récupération des urines pour l'école et le stade municipal, et d'une cabine de toilette sèche pour la place commerçante.

Collecte et analyse de l'urine

Pendant deux mois consécutifs, l'urine sera collectée et stockée à Prades-le-Lez aux ateliers d'Ecosec. Des analyses seront menées de façon à estimer la qualité chimique et sanitaire de l'urine récupérée en fonction de son lieu de provenance. Seront estimés en particulier :

- La concentration en azote sous toutes ses formes (NH_3, NH_4+, NO_3-)
- La concentration en phosphate (PO_4^{3-})
- La concentration en chlorures et en sodium
- La charge en bactérie *E. Coli*. et son évolution au cours du stockage



Un des enjeux majeurs de cette recherche est d'analyser la faisabilité et la pertinence de réduire le volume des urines tout en conservant l'ensemble des nutriments qu'elle contient. Avec 95% d'eau, les coûts de transport de l'urine sur de longues distances affectent l'intérêt de sa valorisation. Il est donc nécessaire d'analyser le bilan économique, énergétique et agronomique de l'utilisation d'urine concentrée selon 2 procédés :

- La nitrification suivie d'une distillation, qui permet de récupérer dans 5% du volume initial 100% des nutriments
- La production de struvite, process beaucoup plus simple, permettant de récupérer 70% du phosphate et 50% de l'azote sous-forme de poudre, grâce à l'ajout de magnésium dans l'urine.

L'étude porte sur deux saisons, il est à prévoir que les quantités d'urine nitrifiée – concentrée ne soient pas prêtes au moment du lancement de la fert-irrigation. Il est donc probale que pour les premiers essais nous utilisions après analyse de composition : L'Aurin, urine nitrifiée puis distillé dans les laboratoires de l'institut Suisse Eawag.

La struvite étant une réaction très simple à mettre en place, elle sera sans problème disponible au début des essais.

La nitrification / distillation

L'urine sera stabilisée par nitrification et concentrée par évaporation avant utilisation. La construction des machines nécessaires sera réalisée à l'Institut Européen des Membranes, et commencera dès le début du projet, en parallèle des activités de la phase 1. Après traitement, l'urine nitrifiée sera analysée selon le même protocole que dans la phase 1. Il s'agira de connaitre la teneur en nutriments pour adapter la dose à appliquer sur les cultures, de même que celle de micropolluants et pathogènes pour s'assurer de l'innocuité de son application.

Description du nitrificateur

La nitrification se déroule en deux étapes :

1. Ammoniac → Nitrite : $NH3 + O2 \rightarrow NO2^- + 3H^+ + 2e^-$
2. Nitrite → Nitrate : $NO2^- + H2O \rightarrow NO3^- + 2H^+ + 2e^-$

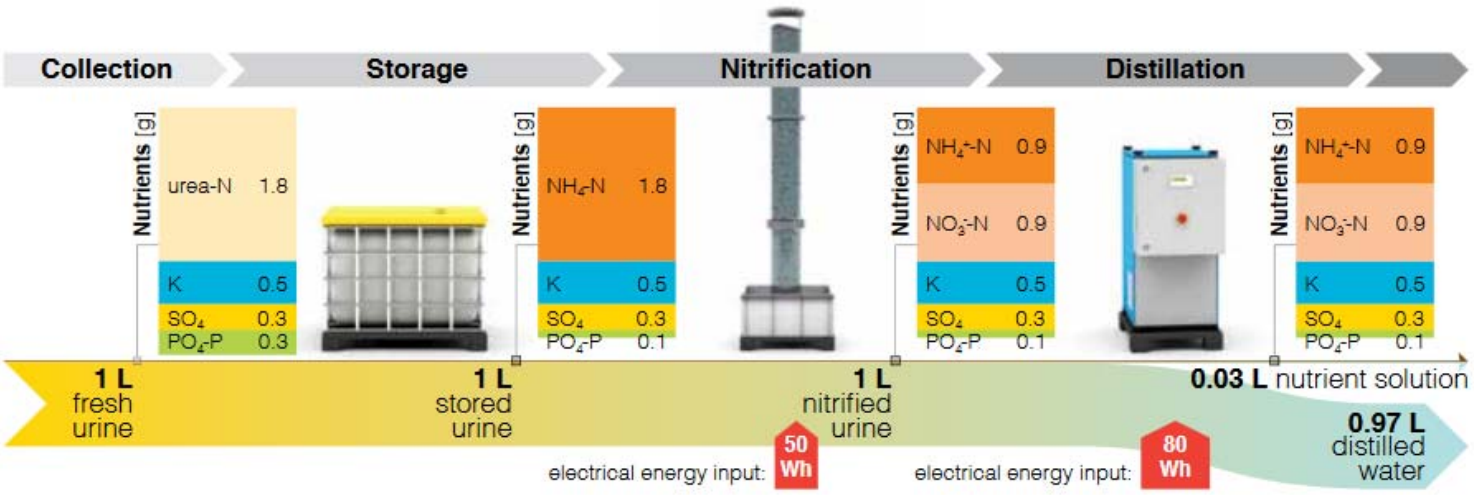
Key figures	
Nitrogen recovery	> 99 %
Recovery of other nutrients (e.g. P, K)	100 %
Liquid fertiliser produced from 1000 L urine	30 L
Typical ammonia oxidation rate (as NH_4-N)	400 to 800 mg/L/d
Electricity consumption for distillation	80 Wh/L urine
Electricity consumption for nitrification	50 Wh/L urine
Temperature range in the distiller (boiling point at 0.5 bar)	80 to 85 °C

Dans le cadre de leur programme de recherche VUNA, l'instiutut Suisse EAWAG a développé une série de Tests qui ont permis la publication la plus aboutie à ce jour sur le traitement et la valorisation de l'urine.

Le projet Vuna a été conduit avec des outils et ensemble de machines professionnelles qui ont un prix élevé. Le but de ce projet est de chercher des solutions bon marchéqui ouvriraient la voie vers un passage à l'échelle en développant des techniques.

En partenariat avec l'Iem, Ecosec a fabriqué un nitrificateur et connait donc bien le fonctionnement de cette technologie. Dans le cadre du projet le nitrificateur qui sera utilisé sera celui de l'Institut Européen des Membranes.

L'idée étant de réussir à simplifier le processus, réduire les coûts énergétiques et de fabrication de nitrificateurs de grande taille qui pourraient à terme permettre un passage à l'échelle économiquement viable.



La distillation d’urine nitrifiée

Pour concentrer l'urine nitrifiée, la distillation a été choisie comme processus de réduction des volumes.

Premières expériences de distillation en laboratoire, Michael Wächter a livré la preuve a travers ses concepts que la combinaison des procédés de nitrification et de distillation permet la récupération de 100% des nutriments.

La publication "Récupération complète des nutriments à partir de sources séparées l'urine par nitrification et distillation "(Udert & Wächter, 2012) documente ces expériences et évalue le potentiel en termes d'efficacité énergétique, de taux de récupération et de sécurité.

Figure 3: About 800 mL of concentrate or 600 g of dry solids can be produced from 20 L of nitrified urine.

Key figures

Maximum water removal from nitrified urine (ammonium nitrate)	97 %
Maximum sodium chloride removal from nitrified urine (ammonium nitrate)	50 %

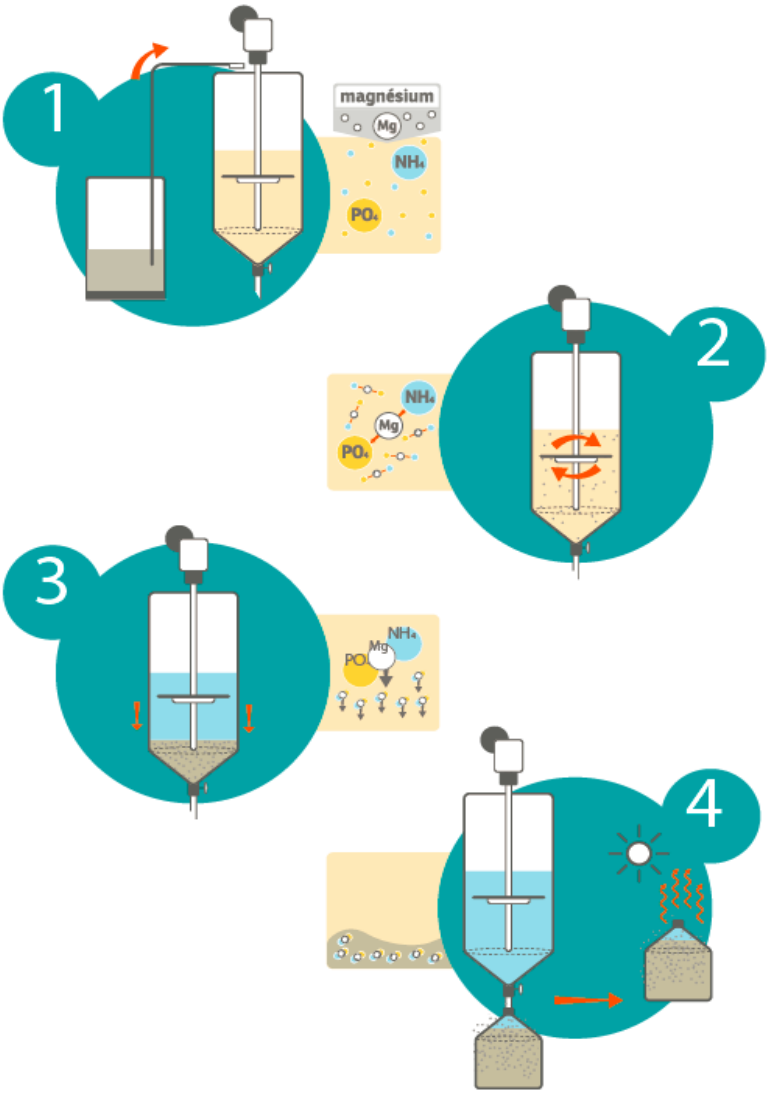
Distilled liquid	Nitrogen loss
Stored urine (pH 9)	93 %
Nitrified urine (pH 6)	1.5 %

Final product	Maximum operating temperature
Solid ammonium nitrate	96 °C
Liquid ammonium nitrate	165 °C
Solid nitrate	> 360 °C

Au même titre que le processus de nitrification, le but de cette étude est de tester plusieurs systèmes de distillation solaire afin de réduire drastiquement le coût énergétique et d’investissement des installations et du processus. Plusieurs techniques sont aujourd’hui envisagées, et seront étudiées au cours du projet.

La production de struvite

La struvite se produit dans un réacteur grâce à l'ajout de magnésium dans l'urine, c'est un process relativement peu couteux et simple à réaliser de manière artisanale. Cette manière de récupérer le phosphate principalement pourrait être généralisée sur des installations décentralisées.



- 1 -

Dans l'urine sont présents des ions phosphates (PO_4^{3-}) et ammonium (NH_4^+). La struvite correspond à la précipitation de ces ions en présence d'ions magnésium (Mg^{2+}) sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien (MAP), communément appelé « struvite ». L'ajout de magnésium permet d'accélérer cette réaction chimique.

- 2 -

L'hélice de mélange permet ensuite d'homogénéiser le mélange urine - magnésium et de former les molécules de struvite.

- 3 -

En laissant ce mélange reposer, les lourdes particules de struvite précipitent naturellement au fond du réacteur en formant une pâte argileuse.

- 4 -

Grâce à un filtre, cette pâte est ensuite récupérée. Elle contient les nutriments présents dans l'urine et notamment plus de 90% du phosphore. Ce filtre est ensuite mis dans un séchoir ce qui permet de réduire la teneur en eau de l'engrais avant de former des granulés.

Un des enjeux de l'étude est aussi de trouver des sources de magnésium qui soient durables et proches du besoin. Une source privilégiée sera les « eaux mères » des marais salants de Camargue.

Après la saison de récolte du sel les eaux mères restantes, véritables concentrés bruts d'eau de mer, sont alors prélevées : elles sont riches en magnésium. Fortement concentrées en sel à l'état naturel, les eaux mères sont ensuite filtrées afin d'en retirer le maximum de sodium. Cette opération, appelée « désodage » est une technique physique dans laquelle aucun produit chimique n'intervient.

La filtration à froid sans pasteurisation permet de préserver les micro-nutriments et de bénéficier d'un produit actif.

Phase 3 : valorisation des urines sur un domaine viticole par fert-irrigation au goutte-à-goutte. Etude réalisée sur 2 saisons.

La solution prometteuse fréquemment mise en avant permettant l'apport d'engrais associé à l'irrigation est la fert-irrigation. Mise en place en REUT grâce à des systèmes d'irrigation de précisions spécifiques, des tests doivent être menés afin de valider leur compatibilité avec l'apport d'urine. En effet, la principale limite de ce genre de pratique de distribution est liée à la sensibilité des distributeurs au colmatage (particules en suspension, biofilm, précipitations) ainsi que l'apport en NaCl en quantité trop importante.

Un protocole scientifique cadrant cette filière et validant son innocuité a été développé et validé par l'IRSTEA, partenaire et spécialiste de la Fert-irrigation.

- Les principales contraintes à lever sont d'ordre techniques et réglementaires :
- S'assurer du non-colmatage des systèmes d'irrigation
- Eviter le lessivage des nutriments (nitrates) par infiltration
- Contrôle de l'apport en Chlorure de Sodium pour éviter la salinisation des sols
- Validation réglementaire de la filière avant un déploiement à grande échelle.

Essais sur une parcelle viticole test sur 2 saisons

Une parcelle test sera mise à disposition par le Domaine de la Jasse pour tester la fertilisation des vignes à l'urine. Le traitement durera toute une saison de culture.

Le dispositif décrit dans le protocole expérimentale, propose de tester la fert-irrigation sur 5 lignes de vigne distinctes :

- 1 ligne seulement eau
- 1 ligne eau + urine pure
- 1 ligne eau + urine nitrif - distillée
- 1 ligne eau + struvite épandue à la main
- 1 ligne eau + engrais conventionnel minéral déjà utilisé sur le Domaine de la Jasse

Les mesures suivantes seront établies en début, durant et en fin de saison :

- Analyse des teneurs et transferts en nutriments (N, P, K) et sels (Na et Cl) sur les 3 médias Eau / Sol / Plante
- Analyse des débits enregistrés par les goutteurs de chaque installation

Puis en fin de saison les mesures suivantes seront effectuées :

- Comparaison des rendements des traitements urine/conventionnel;
- Comparaison de la qualité du raisin entre les traitements (taux de sucre et composés phénoliques);
- Vinification de chaque ligne séparément pour analyser les impacts qualitatifs de chaque type de fertilisant

Phase 4 : Analyse

Analyse des éléments collectés en Phase 3

Bilan global des minéraux, nutriments et sels: on cherchera à établir un bilan global des nutriments apportés (essentiellement N, P et K) et de leur utilisation par les plantes. On distinguera les stockages dans les parties végétatives de la plante, l'exportation dans les fruits et les résidus ou reliquats présents dans le sol en fin de saison. On attachera une attention particulière aux sels (Na et Cl) dont l'accumulation, peut à moyen terme, poser problème en climat méditerranéen, et ce d'autant plus que le climat est aride.

Analyse des productions: parties végétatives et fruits

On procèdera à une Micro vinification de chaque ligne d'étude pour les 5 traitements retenus.

En parallèle sera menée un bilan économique de la technique

Les perspectives d'un industriel (vendeur de la technologie) et d'un domaine viticole (acheteur de la technologie) seront privilégiées pour cette étude. L'analyse intégrera :

- Une étude de l'acceptabilité de la technique auprès des consommateurs ;
- Une étude d'opportunité marketing que cela représente pour le domaine viticole (image « verte » et « éco-responsable »);
- Une analyse des externalités négatives évitées grâce à la méthode (prévention de la pollution des eaux, coût de traitement évité pour les stations d'épuration, volume d'eau usée économisé, etc.);
- Une analyse économique d'un passage à l'échelle si toute la commune de Combaillaux installait des toilettes séparatives et valorisait ainsi ses urines dans les vignes alentours.
- Une analyse prospective de l'opportunité économique que représenterait le recyclage des nutriments de l'urine dans 20 ans (contexte de raréfaction du phosphate et de fin des énergies carbonées nécessaires à la fixation de l'azote atmosphérique).

Protocole expérimental

CARACTERISTIQUES DES FLUIDES

Urine et ses dérivés :

L'urine est issue des cabines de toilette séparative fourni par Ecosec (dont une sera installée sur le centre sportif de Combaillaux).

Le stockage de l'urine est d'au minimum 1 mois dans des tonnes à eau hermétique afin de profiter de l'abatage des pathogènes présents. Ce stockage nous permet de diminuer d'environ 20% la charge entré/sortie en éléments pathogènes, ce point reste à préciser dans les différentes manipulations.

La collecte de l'effluent s'effectue toutes les semaines par camion transporteur ou vélo (fonction de la distance) avant de subir un traitement par notre partenaire, L'Institut Européen des Membranes de Montpellier (IEM).

Ce traitement consiste en :

- Une nitrification va principalement nous servir à stabiliser l'apport en Azote pour une distribution en fert-irrigation.
- Une distillation nous assure une composition connue et maitrisée dans le temps.
- L'extraction du Phosphore par la création de struvite (ajout de magnésium pour la précipitation des particules).

Enfin une Urine pure va être utilisée afin de pouvoir comparer les résultats obtenus avec les autres formes utilisées.

Les différentes formes d'urines sont comparées avec un témoin sans urine ni engrais et un traitement avec de l'engrais standard.

Répartition des nutriments entre les deux types d'effluents humain

Bilans des minéraux et de l'eau, et volumes en jeux :

Nous nous somme pour l'instant basé sur deux apports : mai et juillet. Un calcul rapide (à affiner avec des éléments précis sur l'irrigation et les concentrations) donne un besoin de 2.2 m^3 (13 U) par hectare pour le 1° apport et 2.7m3 (16 U) pour le 2° apport.

L'urine sera injectée au moyen d'un venturi qui sera placé en tête de chaque traitement et mis en route une fois le réseau en pression, suivi d'une période de rinçage. Les durées respectives seront calculées lorsque nous aurons les données hydrauliques précises de l'installation.

Système venturi d'injection d'engrais

CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

Equipements utilisés :

Un état des lieux des équipements à été effectué sur le domaine, les lignes de tuyau sont en bon état sur la parcelle Plantier, il s'agit de goutteurs auto-régulants de 2.3 l/h en diamètre 16 mm.

Quelques informations sur le matériel utilisé :

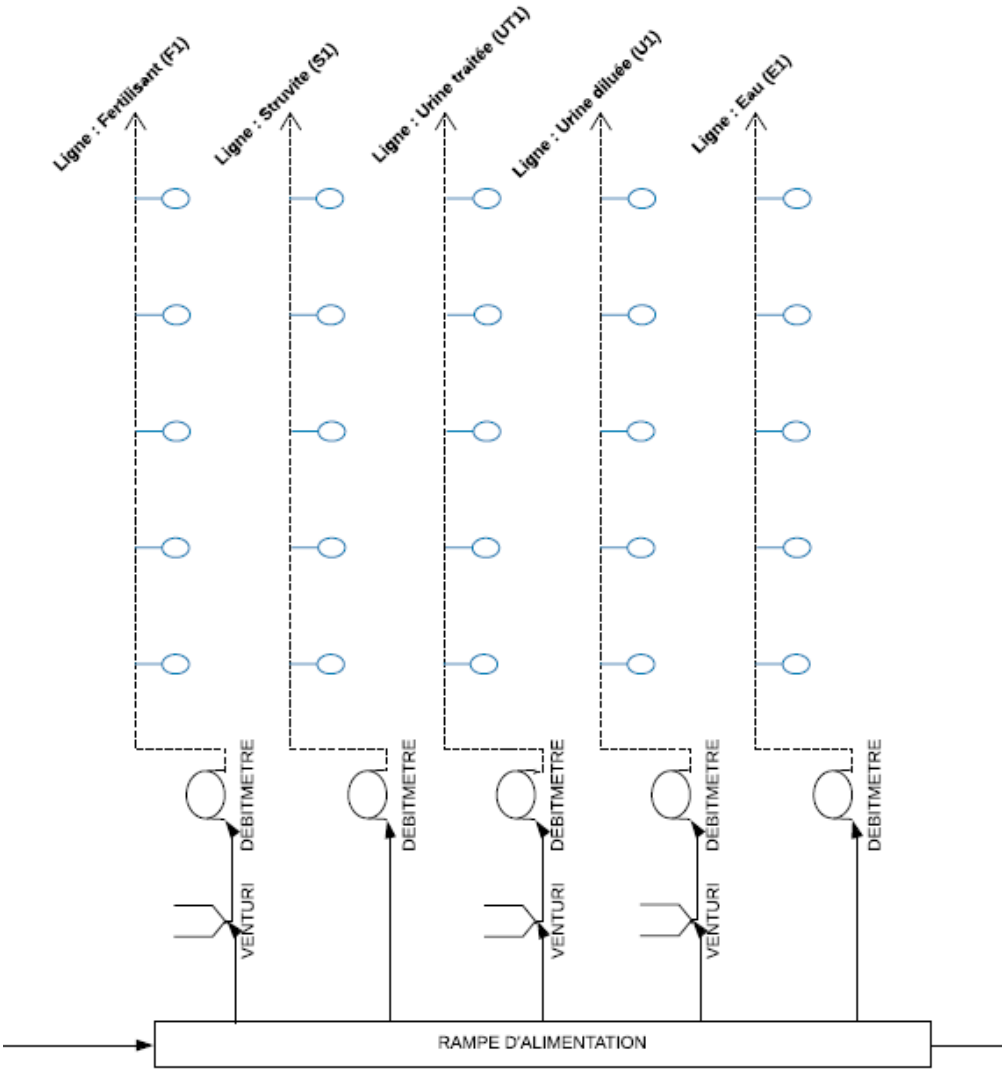
	Caractéristique :	Fourni par :	Quantité :
Pompe	Débit du secteur plantier : XX m^3/h Pression : XX Bar	Domaine de la Jasse	1 pompe
Venturi	Débit d'injection maximal : 20% du débit de la pompe du secteur	Ecosec / IRSTEA	3 venturis
Canalisation d'alimentation	Diamètre : 50 mm Composition : PE enterré (40 cm) Compteur commun à chaque dérivation de 3 lignes.	Domaine de la Jasse	1 canalisation ou nous utilisons 5 secteurs
Canalisation des lignes	Diamètre : 16 mm Composition : PE suspendu (30 cm)	Domaine de la Jasse	5 secteurs de 3 lignes chacune
Débitmètres connectés	Type : XX Précision : XX	ITK	5 Débitmètres
Station météo	Mesure atmosphérique	Domaine de la Jasse	1 station

Mise en place des lignes expérimentales :

Chacun des 5 traitements seront constitués de 3 lignes de vigne, sur la parcelle dénommée Plantier, elles ont une longueur inférieure à 200m. Chacun des apports est maitrisé en débit et en concentration par des débitmètres et des venturis.

- Ligne eau claire (E1) : ligne témoin afin de pouvoir comparer les effets désirables et indésirables éventuels avec les autres lignes sur le matériel, la plante et le sol.
- Ligne eau + urine (U1) : évaluer les effets et transferts vers la plante et le sol en éléments fertilisants tel que l'azote (N), le phosphate (P), potassium (K) mais aussi les éléments indésirable tel que les pathogènes ou encore l'accumulation de sel.
- Ligne eau + urine Traité (traitement nitrification, distillation) (UT1) : Comme la ligne U1, elle permet d'utiliser l'urine comme un engrais à une concentration constante afin de quantifier les effets sur la plante, le sol et les matériels dans le temps. On se rapproche ici des pratiques de fert-irrigation.
- Ligne eau + Struvite (épandage manuel) (S1) : offre un élément de comparaison sur l'assimilation des éléments par la plante avec cette forme particulière d'apport (précipité).
- Ligne eau + Fertilisant Conventionnelle minéral (F1) : évaluer les caractéristiques d'un engrais chimique en comparaison d'un engrais biologique.

Le schéma de fonctionnement des lignes sur la parcelle est le suivant :



L'évolution des vignes sur les différents groupements de ligne seront suivie avec attention. Le suivi de ces 5 différents groupement de ligne (E1, U1, UT1, S1 et F1) aura pour but de :

- Analyser les stades de développement entre les traitements ;
- Quantifier la part de développement végétation/fruits ;
- Analyser les résidus dans les parties végétatives et les fruits et les identifier précisément ;
- Analyser les dynamiques des nutriments dans le sol, dans les reliquats et dans le sol ;
- Evaluer les besoins hydrique de la vigne ainsi qu'en éléments fertilisant.

Méthode d'analyse et de prélèvement

Dans le tableau ci-après comporte les méthodes et analyses prévus pour le projet :

On travaillera sur 5 secteurs d'irrigation de 3 lignes de 200m environ de vigne, chacun représentant une modalité. Les apports seront faits de telle sorte qu'on copie le mode d'apport traditionnel de l'agriculteur, l'irrigation sera conduite comme le fait l'agriculteur en temps normal avec un suivi des transferts d'eau et de l'humidité sur quelques sites représentatifs.

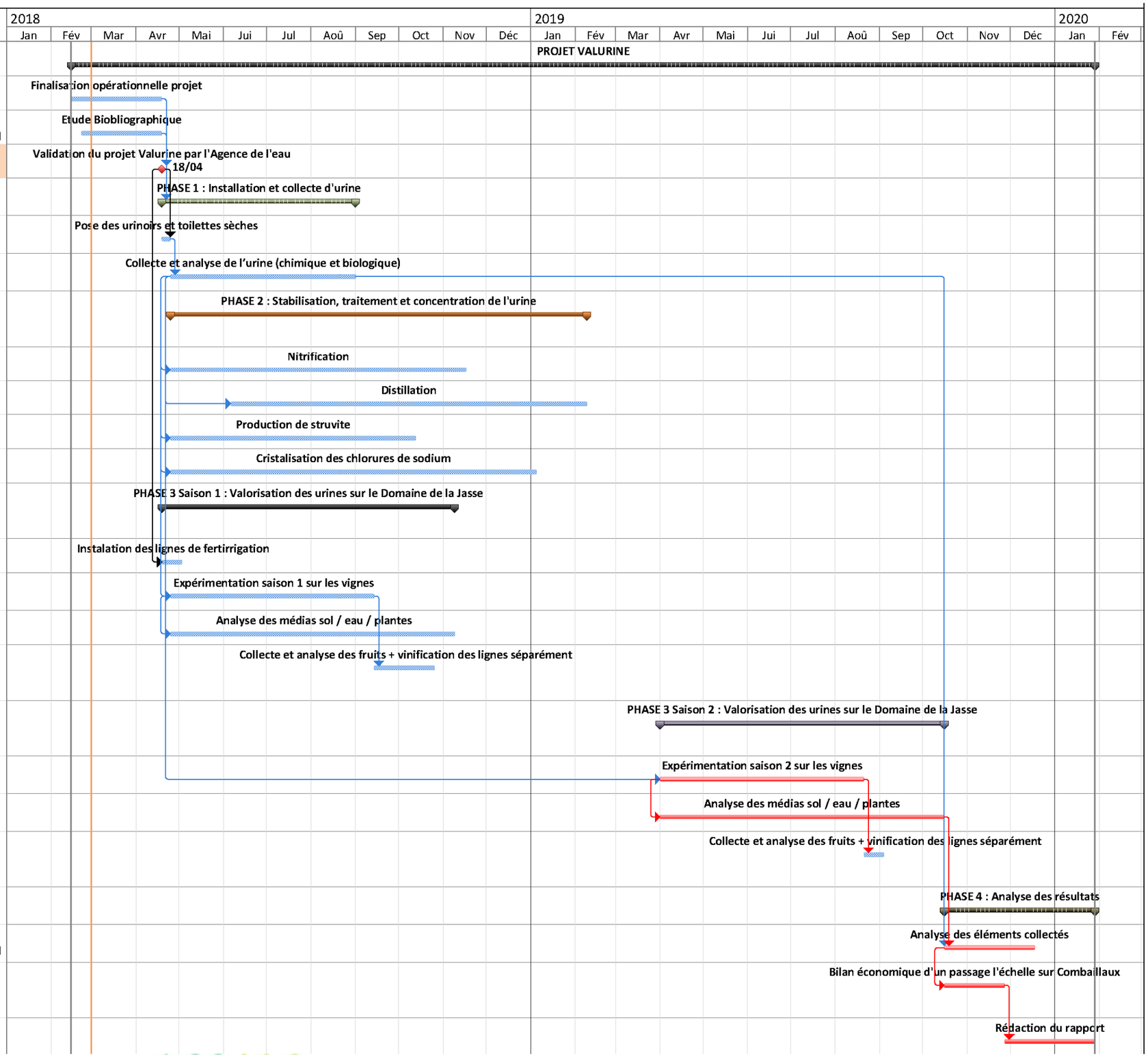
Type de tests et données collectées avant (Sol / irrigation / plantes), pendant et après

- Eau
  - Enregistrement des apports d'eau de pluie et d'irrigation (compteurs et pluviomètre);
  - Suivi du système d'irrigation: pression et uniformité de distribution;
  - Suivis de l'humidité dans le sol: à l'inter-rang sur un des traitements et sous un goutteur de chaque traitement à différentes profondeurs (0-30; 30-60; 60-90; 90-120cm);
- Minéraux
  - Bilan des apports par l'irrigation et l'engrais;
  - Suivis sol: N, P, K, Na, Cl: principalement, avant démarrage de la culture, en juillet à la suite du premier apport qui se déroule en mai, et fin août à la suite du deuxième apport qui doit avoir lieu en juillet. Une distinction sera faite entre les minéraux présents à l'inter-rang et sur le rang (sous les goutteurs d'irrigation);
  - Suivis plantes: analyses de pétioles, bois et fruits sur chaque modalité;
- Stades de développement végétatifs sur chaque modalité.

PHASE 1 : Catégorie des tests		**Eléments analysés**	**Type de test / protocole**	**Nombre / Fréquence des prélèvements**
Urine collectée par Ecosec		$NO3^-$, $NH4^+$, Phosphates, Oxygène dissous et $NaCl^-$	Colorimétrie	5 mesures, toutes les semaines
		pH	Sonde pH	
		Pathogènes	Méthode Idexx	
PHASE 2 : Catégorie des tests		**Eléments analysés**	**Type de test / protocole**	**Nombre / Fréquence des prélèvements**
Urine collectée par Ecosec	**Pathogènes**	évolution du pH	Méthode Idexx	Toutes les semaines au début / tous les mois après
		évolution des pathogènes		
	Nitrification	Bilan azote tout au long de la transformation	Nitrification / distillation au laboratoire de l'IEM	4 à 5 mesures étalé sur la durée du processus de nitrification
		Bilan des consommations énergétiques		
	Distillation	Bilan des consommations énergétiques selon différentes techniques utilisées		
Struvite produite		Réaction selon différents type de source de magnésium		
PHASE 3 : Catégorie des tests (sur les 5 traitements)		**Eléments analysés**	**Type de test / protocole**	**Nombre / Fréquence des prélèvements**
Sol du Plantier		Azote, Phosphore, Potassium et $NaCl^-$	Laboratoire Cirad (IRSTEA)	3 mesures sur 4 profondeurs à l'état 0 puis après chaque apport
		Pathogènes	Méthode Idexx	1 mesure à la fin
		pH	Laboratoire Cirad (IRSTEA)	3 mesures à l'état 0 puis après chaque apport
		Humidité	Suivis tensiométrique Agriscope ou IRSTEA	5 mesures en continue (1 par traitement) à 4 profondeurs
Irrigation		Colmatages	Récolte périodique des débits	Evolution dans le temps fonction des 1er résultats
Fruit et végétation		Poids de vendange	Pesée de la récolte	5 mesures à la fin de la saison
		Taux de sucre	Réfractométrie du jus	
		Qualité du vin	Micro-vinification	

Planning

Nom de la tâche	Durée	Coût	Noms ressources
PROJET VALURINE	**509 jours**	**179 071,00 €**	
Finalisation opérationnelle projet	45 jours	0,00 €	
Etude Biobliographique	40 jours	0,00 €	ECOSEC / IRSTEA / IEM
Validation du projet Valurine par l'Agence de l'eau	0 jour	0,00 €	
PHASE 1 : Installation et collecte d'urine	**97 jours**	**23 377,00 €**	
Pose des urinoirs et toilettes sèches	4 jours	16 447,00 €	ECOSEC
Collecte et analyse de l'urine (chimique et biologique)	93 jours	6 930,00 €	ECOSEC / IRSTEA
PHASE 2 : Stabilisation, traitement et concentration de l'urine	**208 jours**	**36 960,00 €**	
Nitrification	148 jours	12 289,00 €	IEM
Distillation	178 jours	13 675,00 €	IEM
Production de struvite	123 jours	6 096,00 €	IEM
Cristalisation des chlorures de sodium	183 jours	4 900,00 €	IEM
PHASE 3 Saison 1 : Valorisation des urines sur le Domaine de la Jasse	**146 jours**	**57 981,00 €**	
Instalation des lignes de fertirrigation	10 jours	22 176,00 €	ECOSEC / IRSTEA
Expérimentation saison 1 sur les vignes	102 jours	12 936,00 €	ECOSEC / IRSTEA
Analyse des médias sol / eau / plantes	142 jours	19 404,00 €	ECOSEC / IRSTEA
Collecte et analyse des fruits + vinification des lignes séparément	30 jours	3 465,00 €	ECOSEC / IRSTEA
PHASE 3 Saison 2 : Valorisation des urines sur le Domaine de la Jasse	**142 jours**	**35 805,00 €**	
Expérimentation saison 2 sur les vignes	102 jours	12 936,00 €	ECOSEC / IRSTEA
Analyse des médias sol / eau / plantes	142 jours	19 404,00 €	ECOSEC / IRSTEA
Collecte et analyse des fruits + vinification des lignes séparément	10 jours	3 465,00 €	ECOSEC / IRSTEA
PHASE 4 : Analyse des résultats	**75 jours**	**24 948,00 €**	
Analyse des éléments collectés	45 jours	7 207,00 €	ECOSEC / IRSTEA / IEM
Bilan économique d'un passage l'échelle sur Combaillaux	30 jours	11 827,00 €	ECOSEC
Rédaction du rapport	45 jours	5 914,00 €	ECOSEC



Budget

Nom de la tâche	Entité en charge	Coût HT
PHASE 1 : Installation et collecte d'urine		
Pose des urinoirs et toilettes sèches	ECOSEC	**16 447 €**
Collecte et analyse de l'urine (chimique et biologique)	ECOSEC / IRSTEA	**6 930 €**
PHASE 2 : Stabilisation, traitement et concentration de l'urine		
Nitrification	IEM	**12 289 €**
Distillation	IEM	**13 675 €**
Production de struvite	IEM	**10 996 €**
PHASE 3 : Valorisation des urines sur le Domaine de la Jasse		
Instalation des lignes de fertirrigation	ECOSEC / IRSTEA	**22 176 €**
Expérimentation sur les vignes	ECOSEC / IRSTEA	**25 872 €**
Analyse des médias sol / eau / plantes	ECOSEC / IRSTEA	**38 808 €**
Collecte et analyse des fruits	ECOSEC / IRSTEA	**2 772 €**
Vinification de chaque ligne	Domaine de la Jasse	**4 158 €**
PHASE 4 : Analyse des résultats		
Analyse des éléments collectés	ECOSEC / IRSTEA / IEM	**7 207 €**
Bilan économique d'un passage l'échelle sur Combaillaux	ECOSEC	**11 827 €**
Rédaction du rapport	ECOSEC	**5 914 €**

TOTAL	**179 071 €**

Répartition du Budget		
ECOSEC	75210	42%
IRSTEA	59093	33%
IEM	35814	20%
DOMAINE DE LA JASSE	8954	5%

TOTAL	**179 071 €**

Equipe projet

Ecosec

Ecosec souhaite devenir un développeur de solutions dans le traitement et la valorisation local de nos déchets organiques. Elle a développé à ce jour plusieurs prototypes de toilettes publiques.

Passionnés depuis longtemps sur les questions d'eau et assainissement, de gouvernance, de compostage et de cycles courts, Ecosec s'est rapidement orientés sur un projet de sanitaires publics écologiques avec une attention particulière sur la valorisation des effluents, et principalement des urines.

Directeur de Projet : Benjamin CLOUET

Responsable Scientifique : Geoffrey MOLLE, Ingénieur Agronome

Travaux réalisés sur le sujet :

- Valorisation de l'urine par irrigation au goutte à goutte (2016 -2017)
- La Chabasite, traitement et stockage de l'urine (2016 -2017)
- Tour de France des projets scientifiques liés à la valorisation de l'urine (2016 -2017)

Domaine de la Jasse

Domaine viticole de 55 Ha situé à Combaillaux, exploité par Brunon LEBRETON depuis 2008.

Premier domaine familial Iso 26 000, evalué certifié R.S.E : Issue de préoccupations de consommateurs inquiets des impacts de l'activité humaine sur la qualité de vie des populations, la mise en place de la norme Iso 26 000 est de permettre de mesurer, d'agir sur les impacts environnementaux, sociaux et économiques.

« La Responsabilité Sociétale des Entreprises, c'est se confronter à son environnement et voir si l'on est en symbiose avec lui, avec ses partenaires, leurs attentes et leurs besoins. C'est aussi une question de transparence. La RSE permet de se poser les bonnes questions et d'agir en conséquence. » **Bruno Le Breton**

Travaux réalisés sur le sujet :

- En 2013, La Jasse a obtenu la certification Haute valeur environnementale, validant la mise en place de pratiques sanitaires, environnementales, raisonnées, dans les vignes. Dans la logique du Grenelle de l'environnement ainsi que dans celle du développement durable.

IRSTEA

L'IRSTEA a accompagné les évolutions des besoins de ses partenaires publics, territoriaux et industriels : ses recherches ont progressivement pris en compte les nouveaux enjeux environnementaux qui se posaient à l'agriculture, aux écosystèmes, aux territoires. Ainsi ses thèmes de recherche sont en 2014 centrés sur les ressources en eau de surface, les systèmes écologiques aquatiques et terrestres, les espaces à dominante rurale, les technologies pour l'eau, les agrosystèmes et la sûreté des aliments.

Irriguer les cultures en utilisant les eaux usées, un défi pour demain ? Les chercheurs Irstea ont développé un tout nouveau distributeur d'arrosage, breveté en copropriété avec la société Phytorem. Objectif : Éviter le colmatage des distributeurs, causé par les particules présentes dans les eaux usées ou par le développement de biofilms

Responsable Scientifique : Bruno MOLLE, Ingénieur Agronome / Nassim AIT MOUHEB / Geoffrey FROMENT

Travaux réalisés sur le sujet :

- Rizk N., Ait Mouheb N., Bourrié G, Molle B., Roche N., Parameters controlling chemical deposits in micro-irrigation with treated
- wastewater, Journal of Water Supply: Research and Technology, (2017).Ait Mouheb N et al., The reuse of treated wastewater for irrigation in the Mediterranean Rim: towards a virtuous cycle? Accepted at Regional Environmental Change Journal (2018).

IEM

L'IEM est une UMR CNRS spécialisée dans l'élaboration et la mise en oeuvre réussie des membranes dans les procédés. Notre ligne directrice consiste à développer l'intégration des membranes dans les procédés, en tant que procédés unitaires (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, etc) ou comme procédés couplés (bioréacteur à membrane, réacteur enzymatique à membrane, oxydation avancée, adsorption). La démarche consiste ensuite à modéliser les transferts et les réactions (chimiques, photochimiques, enzymatiques ou biologiques) afin d'optimiser les synergies et de proposer des procédés innovants, efficaces, compacts et économes.

Responsable Scientifique : Marc HERAN, Professeur

Intervenants : Geoffroy LESAGE (Nitrification/Micropolluant) / Francois ZAVISKA (Oxydation/Désinfection)

Travaux réalisés sur le sujet :

- Nitrification des urines : thèse de Céline Jacquin portant sur la caractérisation de la matière organique afin de mieux appréhender les phénomènes régissant le colmatage des membranes
- Electro-oxydation indirecte : le traitement de l'azote ammoniacal se fait grâce à la production d'un oxydant (chlore), obtenu par l'oxydation des ions chlorures contenus dans l'urine. Ce chlore produit pourrait aussi permettre la désinfection de l'effluent avant sa réutilisation