

MYCELIUM GARDEN

Diane Schuh
CICM/MUSIDANSE/EDESTA
MSH Paris Nord UAR 3258
schuh.diane@gmail.com

David Fierro
CICM/MUSIDANSE/
MSH Paris Nord UAR 3258
davidfierro@gmail.com

RÉSUMÉ

Ce projet vise à prendre en compte la singularité d'un réseau de mycélium dans un mode d'interaction avec l'humain qui se fonde sur l'écoute et l'attention. Nous construisons un dispositif pour le développement d'interactions sensibles avec le mycélium, organisme facilitant les symbioses, par une interprétation de la spécificité de ses expressions électriques connectées à notre monde musical humain. Pour construire cette interaction, nous utiliserons des algorithmes de Machine Learning pour cartographier le comportement du mycélium, co-composer des sons à partir des variations électriques enregistrées et classées. Dans un deuxième temps et afin de construire une relation interspécifique et sensible avec le mycélium nous construirons un modèle d'IA pour tenter d'entrer en « communication » avec cet être organique non-humain. Ce modèle tentera de conserver la dimension d'altérité dans l'interaction sensorielle. Dans un processus expérimental nous tentons d'entrer en relation avec un organisme non-humain afin d'observer son comportement et ajuster notre comportement en interaction avec lui, interrogeant ainsi les notions d'intelligence et d'adaptation dans un processus de composition à trois agents humain/IA/mycélium. Quelle serait l'intelligence du mycélium comparée à celle du musicien humain et à celle de l'intelligence artificielle : qu'entendons-nous par-là ? Cette installation aborde l'importance de reconnaître l'altérité des êtres non-humains dans le projet écologique de prendre soin du vivant.

1. INTRODUCTION

Ce projet de recherche-crédation est une exploration interspécifique sur les possibilités de communication sensible et de co-composition entre trois agents (mycélium/IA/humain). Ces agents interagissent dans une relation qui ne cherche pas à partager une identité commune mais qui est fondée sur la notion d'ajustement des différences et de reconnaissance de l'altérité. Cette installation traite de l'importance de la reconnaissance de l'altérité des êtres non-humains et non-animaux dans le projet écologique en facilitant les conditions d'émergence d'une dynamique symbiotique [16].

1.1. Écouter la « musique » des cellules vivantes

Depuis 1873, nous savons que les cellules des plantes conduisent des signaux électriques. Burdon-Sanderson a été le premier à identifier le potentiel d'action (PA) dans les végétaux, dont certains mouvements s'activent par stimulation mécano-induite, comme chez les *Dionaea* [7].

Des musiciens et artistes sonores ont utilisé ces propriétés électriques pour construire des dispositifs à partir de systèmes de transduction du signal électrique [2] [4] [8].

1.2. Mycélium et *fungi*, signaux et réseaux symbiotiques

Le mycélium est un organisme souterrain végétatif dont les fructifications sont les champignons. Dans le cas des champignons mycorrhiziens, le réseau peut alors connecter plusieurs systèmes racinaires de végétaux parfois différents [11] [16]. On observe alors une symbiose : une coexistence durable entre deux organismes dont les interactions sont à bénéfices mutuels [16].

Des scientifiques ont mis en évidence des potentiels d'action chez les champignons. En 1995 Olsson et Hansson ont mesuré des signaux électriques dans le mycélium de *Neurospora crassa* [12]. Dehshibi et Adamatzky ont découvert par une analyse multicanale la complexité de systèmes de transmission du signal dans le réseau de mycélium de *Pleurotus ostreatus* [1]. Cette extrême diversité pouvant alors être comparée à la complexité de langages humains, en la surpassant [5].

2. RECONNAITRE L'ALTERITE DU VIVANT : INVENTER DES MODALITES D'INTERACTIONS AVEC DES ETRES ORGANIQUES NON-HUMAINS

2.1. Au-delà de l'anthropomorphisme

À ce jour nous n'avons pas connaissance de l'existence de recherches sur la composition musicale à partir des signaux électriques produits par un réseau de mycélium qui rende compte de la complexité mise en

évidence par Dehshibi et Adamatzky. De plus, ces démarches relèvent souvent de l'anthropomorphisme, voire de l'anthropocentrisme, d'une personnification du vivant non-humain.

Notre projet cherche à développer un dispositif pour des modalités d'interactions sensibles et spécifiques avec le mycélium et ses fructifications, en passant par une interprétation de la singularité de leurs expressions électriques [3] [1].

2.2. Rendre compte des altérités

Notre projet vise à prendre en compte l'altérité, la singularité et la multiplicité d'un réseau de mycélium dans un mode d'interaction avec les humains basé sur l'écoute et l'attention. Il s'agit de rendre audibles les dimensions complexes et invisibles de ces êtres organiques souvent perçus comme inertes et d'inventer un modèle d'interaction qui facilite chez l'humain la sensibilité pour autre que lui. Ce modèle ne cherchera pas à induire une réaction d'empathie anthropomorphique mais tentera de maintenir la dimension d'altérité dans l'interaction non-verbale, créant ainsi un nouvel espace sonore compris comme une hybridation d'individuations symbiotiques, ce qui nous donnera également l'occasion d'examiner et d'approfondir la notion d'individuation symbiotique dans ce travail.

3. METHODOLOGIE

Le projet consiste à construire les conditions d'émergence d'un réseau de mycélium à partir d'une souche récoltée dans le jardin de la Maison des Sciences de l'Homme Paris Nord (MSH PN), à adapter une technologie conçue pour l'homme à un organisme vivant non animal et non végétal, et à trouver une cartographie adéquate de leur PA à l'aide d'un modèle IA, afin de produire une composition musicale qui invite à l'écoute et à l'attention pour le vivant.

3.1. Porter attention au vivant dans un jardin de mycélium

Le cœur du projet est la création d'une installation sonore interactive en co-création avec un réseau de mycélium dont l'émergence, le développement et les conditions de vie ont été organisés par l'humain.

Le développement du jardin de mycélium est planifié sur une période de huit mois. Ces travaux seront réalisés en trois phases. La phase de recherche comprend le recueil du mycélium dans le jardin de la MSH, l'extraction de la souche et le clonage dans des boîtes de Pétri stériles. La deuxième phase comprend la culture en bocaux stériles et la première multiplication du mycélium.



Figure 1. *Agaricus sp.* « Hortus Annae », champignon à partir duquel nous clonons actuellement le mycélium. Photo ©Diane Schuh.

Enfin, la dernière phase comprend la multiplication du mycélium en 3 étapes (de 0,1 m³ à 1m³ selon la taille de l'installation) ainsi que le transport du mycélium du laboratoire à la salle d'exposition, le montage du substrat et de la structure de structure scénographique. Pendant ces 8 mois, nous sommes accompagnés par Spora Studio en tant que consultant. Ils ont en charge le conseil et le suivi technique de la partie organique de l'installation.

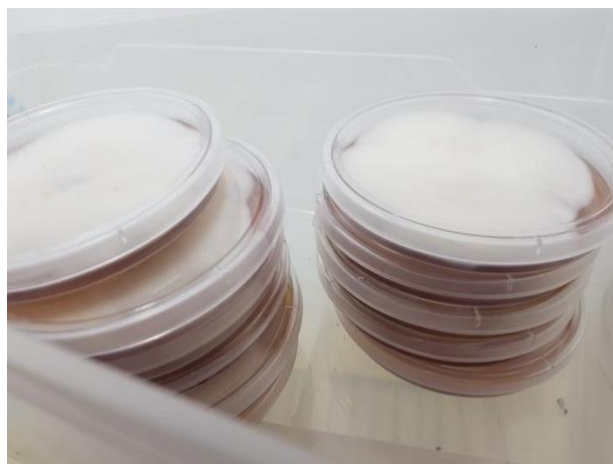


Figure 2. Les 16 boîtes de Pétri du clone d'*Agaricus sp.* « Hortus Annae ». Photo ©Stephen Whitmarsh.

Nous sommes actuellement dans la seconde phase. Nous avons identifié et collecté différents champignons présents dans le jardin de la MSH Paris Nord. Le champignon *Agaricus sp.* « Hortus Annae¹ » que nous avons trouvé adéquat (Figure 1) pour notre projet a commencé à être cloné dans des boîtes de Pétri. Dans cette première étape, nous avons eu un succès d'une souche sur six. Nous avons ensuite fait un deuxième transfert qui nous a permis de cloner et développer le mycélium dans seize boîtes de Pétri (Figure 2). Le mycélium croît actuellement à un rythme régulier, validant notre première hypothèse, à savoir la faisabilité

¹ Au moment de l'écriture de cet article nous attendons la fructification du clone afin d'effectuer une analyse ADN pour déterminer l'espèce

d'Agaric que nous avons trouvé au jardin. « Hortus Annae » est le nom que nous lui avons donné.

du clonage d'un champignon extrait du jardin de la MSH Paris Nord.

Nous avons l'intention de passer au début de la phase 3 au moment des JIM 2023 : nous serons en mesure de présenter plusieurs souches de mycélium qui auraient formé des réseaux émergents que nous pourrions surveiller afin de construire le modèle d'intelligence artificielle, le mapping et la composition musicale.

3.2. Enregistrer le signal du mycélium : essais et protocoles

3.2.1. Adapter un dispositif conçu pour l'humain : le choix du matériel

Pour faciliter la création d'un environnement de co-composition entre les trois agents (mycélium/IA/humain) il est indispensable d'établir un protocole de captation et de traitement des signaux qui puisse nous permettre de mesurer les variations électriques intrinsèques du mycélium en évitant des bruits instrumentaux. Les signaux électriques du mycélium peuvent varier en amplitude et en dynamique. Cependant, ces signaux ont une intensité assez faible et une évolution lente dans le temps [17]. Les caractéristiques de ces signaux impliquent un grand défi technique lors de sa captation. Pour répondre à ce défi, nous nous appuyons sur des technologies de captation de signaux EEG et EMG². Ces dispositifs partagent une très bonne relation signal/bruit, une grande capacité d'amplification et la capacité à éviter ou filtrer des bruits instrumentaux [10].

Dans le cadre de l'ANR BDDMI³, des prototypes permettant de mesurer les signaux électriques du muscle et du cerveau (EMG et EEG) ont été développés en 2022. Nous nous appuyons sur ces technologies et l'expertise testée et éprouvée du projet BDDMI pour développer la cartographie sonore de l'activité du mycélium de l'installation. En utilisant la carte EAVI [6] et des électrodes à aiguilles subdermiques, nous avons testé la faisabilité de ces techniques avec le réseau de mycélium [11]. La carte EAVI possède 4 entrées analogiques bipolaires qui sont traitées par un convertisseur analogique-numérique (ADC) avec un bon rapport signal/bruit (S/N) et une forte amplification. La carte transmet le signal d'entrée brut à un taux d'échantillonnage de 8Khz par USB avec un module d'isolation optique entre la carte et l'ordinateur.

Pour notre projet, nous utilisons deux cartes EAVI, ce qui nous permettra de surveiller 8 intersections du réseau de mycélium et donc de rendre compte de la diversité de ses expressions électriques.

3.2.2. Enregistrer les signaux électriques du mycélium

Lorsque nous effectuons des mesures pour détecter les signaux émis par le mycélium, il est important de mener des analyses approfondies pour nous assurer que les signaux détectés proviennent effectivement du mycélium et ne sont pas simplement du bruit ou des signaux électromagnétiques étrangers. Si nous ne faisons pas suffisamment d'analyses pour distinguer les signaux du mycélium des autres sources possibles, nous risquons de détecter des variations qui ne sont pas réellement liées à l'activité du mycélium.



Figure 3. Monitoring du mycélium de la boîte à champignon au moyen de deux types d'électrodes⁴.

Il existe plusieurs méthodes pour s'assurer que les signaux détectés proviennent effectivement du mycélium. Par exemple, nous pouvons utiliser des techniques de filtrage pour éliminer les signaux indésirables, ou encore réaliser des mesures de contrôle pour nous assurer que les variations que nous détectons sont bien spécifiques au mycélium.

Nous avons décidé de deux protocoles de test pour mesurer les signaux électriques du mycélium en essayant d'éliminer au maximum les possibles sources de bruit externes. Dans notre premier protocole nous avons utilisé des électrodes-aiguilles sous-cutanées⁵ et des électrodes en cuivre pour comparer les résultats (Figure 3). Ces mesures ont été prises sur le mycélium de *Pleurotus ostreatus*, notre organisme modèle⁶. Nous avons sélectionné ce type d'électrodes car elles sont stériles ce qui nous permettra de réduire les risques de contamination dans les boîtes de Pétri. De plus, elles sont assez fines et rigides pour pouvoir s'introduire précisément dans le réseau de mycélium.

Pour le deuxième protocole de test nous avons placé le mycélium et un objet de contrôle dans une cage de Faraday pour minimiser les bruits électromagnétiques près des aiguilles. Nous avons utilisé les électrodes-aiguilles sous-cutanées avec protection contre les bruits.

² Electroencéphalogramme/Électromyogramme

³ ANR-21-CE38-0018, <https://bddmi.nakala.fr/>

⁴ Photo prise en dehors de la cage de Faraday pour les besoins de l'illustration. le 21 décembre 2022.

⁵ « Disposable Subdermal EEG needle electrode » 13 x 0.40mm (27gauge), Stainless Steel, 1.5m (60inch), PVC wire, DIN42802 connector., selon le protocole de Dehshibi et Adamatzky [5].

⁶ En attendant le développement de la souche clonée du jardin, nous avons utilisé une « boîte à champignon » avec du mycélium de *Pleurotus ostreatus* pour tester les protocoles d'enregistrement des PA.

Les aiguilles ont tendance à être plus sensibles aux bruits électromagnétiques car elles n'ont pas de blindage électromagnétique contrairement aux câbles des électrodes.



Figure 4. Monitoring du mycélium cloné depuis le champignon *Agaricus « Hortus Annae »* du jardin de la MSH et monitoring d'un organisme contrôle (éponge). le 16 janvier 2023.

Les trois électrodes ont été connectées sur la surface du mycélium à deux millimètres de profondeur approximativement en essayant de ne pas toucher le substrat car cela pourrait nuire à la qualité du signal et avoir pour conséquence la réduction de l'impédance entre les électrodes.

En parallèle des électrodes connectées au mycélium, nous avons placé une éponge humide utilisée comme objet-contrôle. Les câbles ont été placés l'un à côté de l'autre afin d'avoir le même bruit électromagnétique dans les deux électrodes. Cette configuration nous permet de déterminer *a posteriori* la quantité et le spectre du bruit électromagnétique aux alentours du mycélium. Malgré le fait que l'éponge et le mycélium n'ont pas la même impédance, le signal perçu par les électrodes placés sur l'éponge peut nous donner assez d'informations pour éliminer de possibles perturbations futures en temps réel. Nous comptons implémenter cette étape de filtrage en utilisant des techniques d'apprentissage machine. L'éponge humide a été choisie comme objet de test car elle n'est pas vivante et peut être utilisée comme référence pour les comparaisons avec les signaux électriques du champignon. On pourrait donc déduire que les perturbations présentes dans les deux électrodes font partie du bruit instrumental. La figure 4 montre la boîte de Pétri à côté de l'éponge avec les trois électrodes-aiguilles sous-cutanées.

3.2.3. Les signaux enregistrés

La figure 5a montre le signal enregistré au moyen des électrodes placées sur le mycélium *Pleurotus ostreatus*.

⁷ Le canal 1 est enregistré avec les électrodes en cuivre et le canal 2 avec les électrodes-aiguilles sous-cutanées. Lors de cette expérience, nous avons pu identifier quelques pics dans la forme d'onde. Nous pouvons également les écouter à 0:04 et 0:25 du fichier: https://dianeschuh.fr/01_spikesMushroom48-Brut.wav

Nous pouvons apercevoir des perturbations sporadiques en même temps que la forte présence d'un signal qui, à première vue, ressemble à du bruit électromagnétique. Il est possible que les données collectées présentent un signal complexe qui comprend à la fois des informations utiles provenant du mycélium ainsi que des perturbations ou des interférences causées par le bruit instrumental. Ce bruit instrumental est composé de tout type d'interférence ou de perturbation introduite dans les données par les instruments de mesure utilisés pour les collecter.

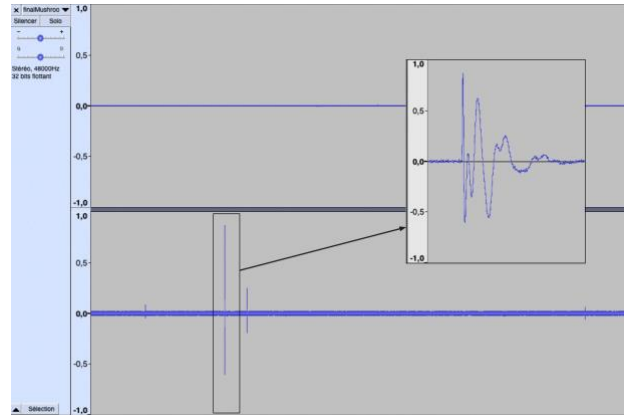


Figure 5a. Visualisation de l'enregistrement du signal de *Pleurotus ostreatus* (boîte à champignon) enregistré le 21 décembre 2022⁷.

La figure 5b montre le signal enregistré sur les électrodes placées sur le mycélium *Agaricus « Hortus Annae »*. Nous remarquons un signal similaire à celui du mycélium *Pleurotus ostreatus* mais avec l'absence des pics de voltage. Nous allons poursuivre nos expériences pour déterminer si ces grandes différences de potentiel proviennent du mycélium. Il est important de noter que la figure 5a montre le signal enregistré lors de la phase de fructification du mycélium *Pleurotus ostreatus*, tandis que la figure 5b montre le signal du mycélium *Agaricus « Hortus Annae »* encore en développement en boîte de petri.

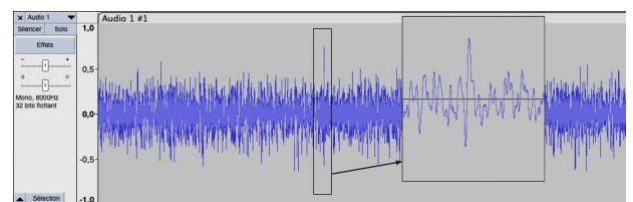


Figure 5b. Visualisation de l'enregistrement du signal d'*Agaricus « Hortus Annae »* (clone du jardin de la MSH), le 16 janvier 2023.

Dû à la nature des possibles signaux électriques générés par le mycélium, il peut être difficile de distinguer les composantes du signal qui proviennent du

Nous restons cependant très prudents quant à l'interprétation que nous pourrions faire de ces pics. Ceux-ci pourraient provenir de mouvements mécaniques du substrat induits par l'humidité, et ne pas être directement liés à l'activité du mycélium.

mycélium de celles qui sont causées par le bruit instrumental, car elles peuvent se chevaucher et avoir des caractéristiques similaires. Cependant, il existe des méthodes d'analyse de données avancées qui peuvent aider à séparer les différentes composantes du signal et à identifier celles qui sont les plus importantes ou les plus représentatives du mycélium. Nous envisageons d'implémenter ces techniques dans la prochaine phase de notre projet.

3.3. Faciliter les communications interspécifiques en utilisant le Machine Learning et l'IA

Dans le cadre de cette recherche expérimentale, nous testerons différents processus de construction d'une communication inter-espèces. Au moment d'écrire cet article, nous entamons une phase d'observation. Pour établir une relation interspécifique avec le mycélium, nous devons observer et enregistrer son activité sur des périodes de plusieurs heures. Pendant cette phase, nous enregistrons et analysons le potentiel d'action du mycélium. Un modèle d'apprentissage automatique basé sur l'apprentissage non supervisé nous aidera à catégoriser et à classer les variations de l'activité électrique du mycélium. Nous serons alors en mesure de déterminer l'échelle de temps et la fréquence des motifs (*patterns*) qui émergent de l'activité électrique du mycélium. Pour cette partie du projet nous nous associons à Hugo Scurto, ingénieur de recherche sur le projet, qui rejoindra l'équipe en avril 2023. Hugo Scurto va développer un modèle d'IA à partir de nos enregistrements. Nous pourrions alors construire un mapping qui permettra au mycélium d'interagir avec les différents moteurs sonores composés. Ces modèles incluent des interpolations linéaires, régressives et d'apprentissage par renforcement [15].

Ce type de machine learning permet aux mappings d'évoluer et de s'adapter en temps réel et en interaction entre les agents [13]. Nous pensons que l'adaptabilité de ce modèle rendra compte de manière plus précise de la spécificité et la diversité de l'activité du réseau de mycélium. En investiguant ces hypothèses, nous tenterons d'examiner la notion de symbiose mais aussi l'ontologie de l'IA.

À la suite de cette phase de recherche, nous serons en mesure d'installer notre dispositif. Les sons co-composés avec l'IA seront modulés par l'activité du réseau de mycélium. La faisabilité d'une interaction en temps réel, compte tenu de la lenteur de l'activité du mycélium, sera une hypothèse à tester lors de cette phase du projet. Les phases de recherche et de co-composition nous permettront de comprendre les différents types de comportements et d'interactions dans une relation mycélium/IA/humain. Cette phase permettra d'expérimenter et d'analyser les différents types de comportement en fonction des types d'organismes impliqués. Peut-on parler ici d'intelligence ou

d'adaptation ? Nous trouverons des stratégies pour rendre compte de la diversité, notamment de la diversité fonctionnelle du mycélium.

3.4. Composer avec le signal du mycélium : synthèse et « archéologie sonore »

Nous nous sommes demandé comment connecter le signal du mycélium à notre monde musical humain ; quelles médiations sensibles et quels choix compositionnels pouvons-nous proposer ?

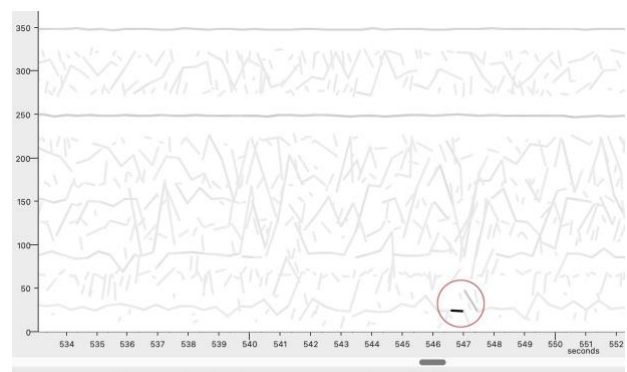


Figure 6. Analyse FFT du signal du mycélium au moyen du logiciel SPEAR, recherche de singularités (entourée en rouge).

Dans cette première phase de recherche-création nous avons utilisé l'enregistrement du bruit (le mycélium et son milieu) comme matériau. À partir d'une analyse FFT effectuée dans le logiciel SPEAR nous avons cherché des singularités fréquentielles. Au sein du bruit nous avons pu identifier des intensités rares mais remarquables dans les bandes de fréquences inférieures à 50 Hz (Figure 6).

À partir de cette analyse nous souhaitons développer une poésie sonore inspirée par le mycélium et son milieu : le sous-sol. En utilisant la technique de synthèse par transformation sonographique⁸ (Figure 7), nous avons cherché à mettre en valeur les basses fréquences. Pour cela nous avons travaillé à la composition de contrastes par effacement et réorganisation, en agissant sur la représentation graphique du son. Nous avons testé la composition de pédales faites de basses fréquences mises en contraste avec des textures granulaires et pointillistes dans les hautes fréquences⁹.

Le travail de composition des basses fréquences s'inscrit également dans l'hypothèse de l'établissement d'un « contact » avec le mycélium. La diffusion des bandes sonores composées par la compositrice et modulées par le mycélium se fera sur un système hybride WFS/Ambisonic renforcé par 4 caissons de basses. Nous travaillons ici sur la possibilité d'une réaction de cet organisme aux vibrations des basses fréquences, établissant alors une première boucle de rétroaction par réaction du mycélium à la composition qui sera alors modulée différemment par de nouveaux pics de PA. Cette

⁸ *sonographical transformation* in Roads Curtis [14]

⁹ Deux échantillons sonores composés à partir du bruit du mycélium à écouter: https://dianeschuh.fr/02_48Khz_Mycelium_sonographic.wav et https://dianeschuh.fr/03_48Khz_Mycelium_sonographic.wav

hypothèse sera testée lors de la présentation de l'installation aux JIM23¹⁰.

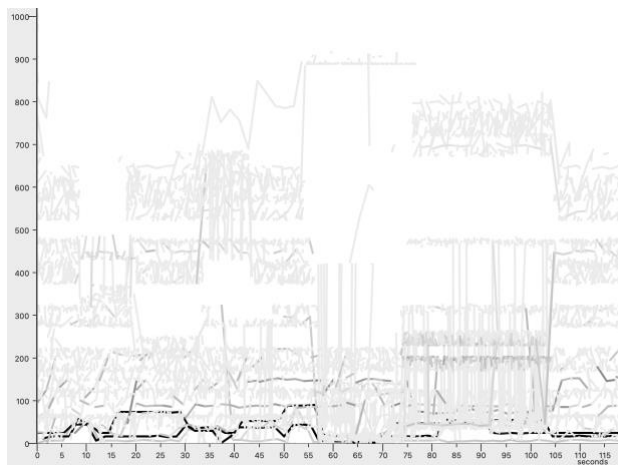


Figure 7. Synthèse par transformation sonographique, par réorganisation des partiels dans le logiciel SPEAR.

Ce travail en cours est une exploration de ce que pourrait être la poésie d'une polyphonie du sous-sol ainsi que le développement d'une composition par ce que nous définissons comme une « archéologie sonore¹¹ ».

Ces échantillons composés serviront de substrat sonore à un patch Max dont les variables seront modulées par l'activité du mycélium¹².

4. PRESENTATION D'UN TRAVAIL EN COURS

Le projet « Mycelium Garden » est soutenu par la MSH Paris Nord et ArTec dans le cadre de son appel à projet « Symbiose ». La MSH Paris Nord accueille ce projet dans ses locaux durant l'année 2023. Pour les JIM 2023, nous proposons de présenter un point d'étape de notre recherche expérimentale. Nous proposons d'exposer une première modalité de présentation de l'installation sonore interactive. Plusieurs boîtes de Pétri avec du mycélium cloné à partir d'*Agaricus « Hortus Annae »* et plusieurs bocaux en verre avec des plantes et leurs réseaux mycorrhiziens transplantés du jardin de la MSH formeront notre jardin de mycélium. Ces organismes seront connectés par des électrodes à deux cartes EAVI, ce qui donnera huit canaux de monitoring des PA. L'activité de ces huit canaux sera interprétée par le modèle d'IA mappé à partir des interactions qu'auront engagé la compositrice et le mycélium lors de la phase de composition de l'architecture. Nous pourrions entendre les premiers résultats de l'installation sonore : la composition mycélium/AI/humain.

¹⁰ Un rendu stéréo d'une première esquisse de 19 pistes composée à partir du substrat de basse fréquences extrait dans SPEAR et transformé dans Max :

https://dianeschuh.fr/MYCELIUM_MULTIPISTE-essai1-render2.wav

¹¹ Nous définissons ici l'archéologie sonore non pas comme une reconstruction de paysages sonores du passé mais comme une manière d'extraire au sein du bruit les singularités de ce que nous imaginons (à ce stade de nos recherches) être l'expression fréquentielle du signal du

Les objets et l'installation développés dans ce projet serviront à repenser la question de la communication inter-espèces, conçue non pas comme un processus basé sur une culture et une intentionnalité communes, mais comme une forme de coproduction de sens par « ajustement de différences » [9]. Ce dispositif invitera également à s'interroger sur les enjeux esthétiques des formes générées automatiquement ou, dans le cas présent, guidées par des processus non-humains, en montrant la fragmentation et la dissolution de l'intentionnalité dans ce type de productions, qui synthétisent et explorent des niches inexplorées de nos espaces culturels. En intégrant le développement IA dans ce contexte, il s'agit aussi de chercher à comparer les intelligences : que voulons-nous dire lorsque nous parlons d'intelligence ? Quelle serait l'intelligence ou la capacité d'adaptation du mycélium par rapport à celle du musicien humain et à celle de l'intelligence artificielle [19] : qu'entendons-nous par-là ?

5. REMERCIEMENTS

Nous remercions les organismes de financement du projet de recherche « Mycelium Garden » : l'EUR ArTec et la MSH Paris Nord, ainsi que l'équipe réunie autour de ce projet : Anne Sèdes, Alain Bonardi, David Fierro et Adrien Zanni du CICM ; Charlotte Janis et Roberto dell'Orco de Spora ; Guillaume Peureux et Julien Schuh du CSLF Nanterre ; Stephen Whitmarsh de l'ICM ; Hugo Scurto d'ArTec.

6. RÉFÉRENCES

1. Adamatzky Andrew, « On spiking behaviour of oyster fungi *Pleurotus djamor* », *Nature, Scientific Reports*, vol. 8, no 1, (2018): 7873.
2. Agapea Saša Spačal, « Infrastructures for Each Other », consulté le 29 novembre 2022, <https://www.agapea.si/en/projects/infrastructures-for-each-other>.
3. Barbara Ricardo, « Electrical currents associated with arbuscular mycorrhizal interactions », *New Phytologist*, vol. 129, n°3, (1995) : 433-438.
4. Darren Moore, Guy Ben-Ary, Andrew Fitch, Nathan Thompson, Douglas Bakkum, Stuart Hodgetts & Amanda Morris « cellF: a neuron-driven music synthesiser for real-time performance », *International Journal of Performance Arts and Digital Media* 12:1, (2016): 31-43.
5. Dehshibi Mohammad Mahdi, Adamatzky Andrew, « Electrical activity of fungi: Spikes detection and complexity analysis », *Biosystems*, vol. 203, (2021): 104373.

mycélium. L'extraction des singularités fréquentielles est le point de départ d'une démarche de réorganisation compositionnelle qui se base sur une poésie du sous-sol.

¹² À ce stade de notre recherche, l'instrument n'a pas encore été composé. Le choix des traitements et les types de variables à moduler sont encore à définir. Ces choix seront précisés lors de la phase de conception de l'IA, en interaction avec le travail de l'ingénieur de recherche.

6. Di Donato Balandino et al., “EAVI EMG board”, (2019).
7. Fromm Jörg, Lautner Silke, « Electrical signals and their physiological significance in plants », *Plant, Cell & Environment*, vol. 30, no 3 (2007): 249-257.
8. Garcia Leslie, « INTERSPECIFICS », consulté le 29 novembre 2022, <https://github.com/interspecifics>.
9. Guillo Dominique, *Les fondements oubliés de la culture: une approche écologique* (Paris, France: Éditions du Seuil, 2019).
10. Metting Van Rijn A.C., Peper A. et Grimbergen C.A., « Amplifiers for bioelectric events: A design with a minimal number of parts », dans *Medical and Biological Engineering and Computing*, vol. 32, n° 3, 1 mai 1994, p. 305-310, [En ligne], <<https://doi.org/10.1007/BF02512527>>, (Consulté le 24 février 2023)
11. Miyauchi Shingo et al., « Large-scale genome sequencing of mycorrhizal fungi provides insights into the early evolution of symbiotic traits », *Nature Communications*, vol. 11, no 1, (2020): 5125.
12. Olsson Stefan, Hansson Bill, « Action Potential-Like Activity Found in Fungal Mycelia Is Sensitive to Stimulation », *Naturwissenschaften*, vol. 82, (1995): 30-31.
13. Radford Alec et al., « Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision », *arXiv*, (2021), Consulté le 3 décembre 2022, <http://arxiv.org/abs/2103.00020>.
14. Roads Curtis, *Composing electronic music: a new aesthetic*, New York, Etats-Unis d'Amérique, 2015.
15. Scurto Hugo, « Designing With Machine Learning for Interactive Music Dispositifs », (Ph.D. diss. Sorbonne université, 2019).
16. Selosse Marc-André, *La symbiose: structures et fonctions, rôle écologique et évolutif* (Paris, France: Vuibert, 2000).
17. Slayman C, Long W, Gradmann D. 1976. « “Action potentials” in *Neurospora crassa*, a mycelial fungus ». *Biochimica et Biophysica Acta* 426: 732–44.
18. Thompson, Douglas Bakkum, Stuart Hodgetts & Amanda Morris « cellF: a neuron-driven music synthesiser for real-time performance », *International Journal of Performance Arts and Digital Media* 12:1, (2016): 31-43.
19. Turing Alan, « Computing Machinery and Intelligence », dans *Mind*, vol. LIX, n° 236, 1 octobre 1950, p. 433-460, [En ligne], <<https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>>, (Consulté le 27 février 2023).