

## **DOCUMENT A NE PAS DIFFUSER**

### ***Un peu d'histoire***

Il y a une révolution numérique, qui est maintenant devenue évidente pour tout le monde par son impact sur le travail et les relations humaines. Cette notion de révolution numérique était pourtant encore questionnée il y a moins d'une dizaine d'années, notamment dans le milieu théâtral.

D'où part cette révolution numérique ? : plusieurs facteurs se combinent à partir de développements philosophique et scientifique au début du 20<sup>ème</sup> siècle. On peut repérer 3 personnages clefs : Turing, Wiener et Von Neuman, travaillant en Angleterre et aux Etats Unis. L'idée principale sous-jacente est que le fonctionnement de l'esprit humain et de la machine sont similaires, notamment sur le plan de la logique. On assiste à une sorte de volonté de mettre en équation l'esprit humain. Turing expose cette idée en 1936 dans un article célèbre et invente le concept de machine de Turing universelle, qui propose une manière de formaliser le raisonnement logique qui servira de base à la notion de programmation algorithmique (que nous verrons plus tard).

Pendant la Seconde Guerre Mondiale, les alliées ont deux gros problèmes avec les allemands : dans les airs il y a l'aviation et les V2, et pour les communication, il y a un codage très perfectionné des informations avec la machine Enigma. Un des tournants de la guerre consistera à réduire ces deux problèmes.

Wiener va utiliser ses théories sur la récursivité et la rétroaction pour mettre au point les premiers radars capables d'anticiper des trajectoires et donc de fournir une défense aérienne efficace.

Turing fabrique un ordinateur pour décoder Enigma.

Von Neuman est considéré comme un des pères de la bombe atomique qu'il a réussi à faire fabriquer en utilisant des simulations de calcul avec des machines à calculer très puissantes.

Après guerre, Von Neuman poursuit ses recherches sur l'architecture des ordinateurs et le système binaire. Et puis quelques années plus tard surgit la théorie de l'information de Shannon. Wiener, Von Neuman et Shannon ont participé activement au mouvement de la cybernétique dans les années 50-60.

La cybernétique peut être considérée comme une science du contrôle et de la communication, fondée sur des machines électroniques complexes, comparables au système nerveux de l'homme.

Le mouvement cybernétique fait se croiser des chercheurs venant des mathématiques, de la psychologie, de la philosophie, de la physique, des télécommunications. Cela conduit entre autre au développement des neurosciences et des théories de l'information, dont l'informatique.

## ***Les principes du numérique***

Le principe fondamental des ordinateurs est qu'ils font des calculs à partir d'information matériellement stockée sous forme de 0 et de 1. Si l'on veut utiliser un ordinateur pour travailler sur un son ou une image, cela pose un problème de savoir comment l'ordinateur comprend le son ou l'image. Il faudra donc utiliser un processus de codage numérique pour faire comprendre le son ou l'image à un ordinateur.

Cela introduit une rupture fondamentale avec la représentation analogique de la matière que l'on avait avant l'invention de l'ordinateur binaire. C'est ce que je vais maintenant tenter d'expliquer.

### **Représentation analogique de la matière**

#### Les premières approches de reproduction mécanique du son et de la lumière

On va partir des exemples du son et de la trace lumineuse photographique.

L'onde sonore est produite par un mouvement d'air qui peut-être enregistré de manière analogique en mesurant le mouvement d'une membrane dans un micro. Ce signal peut être mécaniquement enregistré sur un disque ou une bande et ensuite transmis à une autre membrane, l'enceinte sonore, qui retranscrit le son enregistré. La chaîne est analogique car on respecte à chaque étape la nature originelle de l'onde sonore.

Pour la lumière, on a d'abord inscrit sur une pellicule l'impact chimique de l'action de photons : le résultat est donc directement analogique à la nature lumineuse de l'objet photographié.

L'introduction du mouvement par l'invention du cinéma ne change pas la nature analogique de l'image. Il ne s'agit que d'une amélioration mécanique permettant la prise successive de photographies, ainsi que leur restitution.

#### Approche électronique - exemple de la vidéo

En parallèle, il y a la notion de transmission du signal lumineux par moyens analogiques électroniques : au lieu d'imprimer sur une photo, on transforme le signal lumineux en signal électronique, toujours de manière analogique, puis ce signal électronique est directement transmis à un tube cathodique qui le reconstitue sous forme lumineuse. Le photon excite un électron, et

inversement pour la restitution, l'électron émet un photon.

Pour rappel : l'électronique est la science du traitement des signaux électriques.

La transmission du signal électronique est inventé dès le début du 20ème siècle, mais le premier enregistreur analogique électronique d'un signal vidéo pour le broadcast est seulement construit en 1956. Donc on a pu faire de la télévision avant, dès 1949 en France, mais ce n'était que du direct avec une technique différente du cinéma.

On pouvait en revanche transmettre du cinéma en le filmant avec une caméra.

La dématérialisation du son et de l'image est d'abord devenue électronique après avoir été mécanique, grâce à l'utilisation de l'électricité et à la possibilité de transformer les signaux. Mais en devenant électronique, cette dématérialisation n'a pas perdu sa dimension analogique. Les ondes sonores et lumineuses sont simplement mises en correspondances avec des ondes électriques. Cette dématérialisation électronique permet un transport et une transformation des signaux grâce à la nature transportable de l'électricité et à la science électronique.

### **La rupture du codage numérique**

Dans les années 1970-80, l'ordinateur se développe considérablement et devient accessible à tous avec la concept de micro-ordinateur. Mais l'ordinateur ne peut pas traiter des informations analogiques, car elles sont d'une autre nature que ce qu'il peut comprendre : à savoir des 0 et des 1, afin de faire des calculs.

On va donc traduire les représentations analogiques du son et de la vidéo en représentation numérique par le moyen du codage numérique.

Le codage numérique va consister à écrire les signaux électroniques avec des 0 et des 1.

L'impact de ce codage représente une même rupture que celle de la notion de mise en équation algorithmique de l'esprit humain précédemment décrite avec les débuts de la cybernétique, et qui a conduit à inventer les ordinateurs.

Ce processus de codage introduit une rupture dans la chaîne qui conduisait de la matière sonore à sa dématérialisation électronique et puis à sa restitution matérielle physique.

La où il y avait une continuité analogique, on va faire une extraction d'information avec une fréquence d'échantillonnage et une précision de quantification. Comment cela se passe en pratique ?

## Echantillonnage et quantification

On va donc mesurer le signal électrique un certain nombre de fois par seconde, par exemple 48 000 fois, ce qui représente une fréquence de 48 Kh, et le nombre obtenu, on va choisir de le représenter sous forme binaire avec une précision donnée, par exemple 8bit, 16 bit, etc. Car il faut savoir que la codification binaire n'utilise que des 0 et des 1 pour représenter les nombres :

exemple de chiffres codés sur 8 bits

0 : 0 0 0 0 0 0 0 0

1 : 0 0 0 0 0 0 0 1

2 : 0 0 0 0 0 0 1 0

3 : 0 0 0 0 0 0 1 1

4 : 0 0 0 0 0 1 0 0

L'opération de codage numérique induit une discrétisation du signal, ce qui veut dire qu'il n'est plus continu, et n'est plus un reflet analogique fidèle à la matérialité physique.

Là où on avait une onde électrique continue, on a maintenant des 0 et des 1 par micro intervalle de temps.

Ces 0 et ces 1 sont matériellement et tout bêtement écrits dans la mémoire de l'ordinateur : un disque dur n'est qu'une masse de petites sections de graphite chargé négativement pour 0 ou positivement pour 1.

Le signal a changé de nature, et c'est la première des deux dimensions fondamentales de la révolution numérique. La seconde est la notion de programme algorithmique.

### **Le calcul algorithmique**

Citation de Gérard Berry

« Un algorithme, c'est tout simplement une façon de décrire dans ses moindres détails comment procéder pour faire quelque chose. Il se trouve que beaucoup d'actions mécaniques, toutes probablement, se prêtent bien à une telle décortication. Le but est d'évacuer la pensée du calcul, afin de le rendre exécutable par une machine numérique (ordinateur...). On ne travaille donc qu'avec un reflet numérique du système réel avec qui l'algorithme interagit. »

L'algorithme est donc une sorte de recette que l'ordinateur va suivre. L'algorithme est écrit avec un langage de programmation. Un logiciel consiste principalement en un gros algorithme qui va faire de multiples tâches à partir d'une représentation d'objets sous forme de 0 et de 1 : ces objets peuvent notamment être tout élément du réel qui se représente de manière binaire.

Ce qu'on appelle intelligence artificielle, se sont des algorithmes qui se transforment eux-même par apprentissage comme par exemple les réseaux de neurones. Le réseau de neurones est une catégorie d'algorithme qui s'améliore en apprenant de ses erreurs. A chaque cycle de calcul, il évalue le résultat et le mémorise, ce qui lui permet une meilleure réponse lorsqu'il rencontre un problème similaire. Pour améliorer un algorithme type réseau de neurones, on a besoin de beaucoup d'exemples, c'est-à-dire de beaucoup de data.

Venons-en aux nouvelles technologies :

L'adjectif nouvelles dans « nouvelles technologies » correspond probablement à cette rupture radicale produite par le passage de l'analogique au codage binaire, et qui reste toujours assez difficile à comprendre, bien que cette rupture ait plus de 50 ans maintenant.

Pour comprendre cette rupture, on peut imaginer ce qui s'est passé lorsqu'on a inventé l'écriture et que les premiers livres ont commencé à être utilisés : on avait une représentation du réel qui reposait sur une langue orale (que l'homme a dû apprendre à parler), et on a déposé les mots sur du papier, on les a sorti du corps humain (et l'homme a dû apprendre à écrire).

La représentation du monde dans le paradigme de l'oralité n'a rien à voir avec celle dans le paradigme de l'écriture, et donc c'est la même chose avec ce qui se passe en ce moment avec la mise en place du paradigme du numérique.

La révolution numérique a donc produit ce qu'on appelle les « nouvelles technologies ». Qu'est-ce que sont les « nouvelles technologies » ?

## ***Les nouvelles technologies***

Il y a deux dimensions à comprendre dans les « nouvelles technologies » :

celle de la simulation du réel par un double processus de codification binaire et de calcul algorithmique, qui est la continuation directe de ce que nous venons d'aborder la dimension du réseau avec l'irruption d'internet

### **La mise en réseau planétaire des ordinateurs**

Dans les années 70, le ministère de la défense américain, par son laboratoire de recherche, le DARPA, met au point un système de réseau entre ordinateur pour résoudre les problèmes de vulnérabilité de ses communications. Le réseau s'appelle alors ARPAnet, et devient Internet dans la foulée avec la mise au point du protocole tcp/ip qui permet aux ordinateurs d'échanger des

informations par un réseau à l'échelle de la planète. Le tcp/ip est simplement un ensemble de règles pour échanger des 0 et des 1 en évitant les erreurs.

Ce réseau internet est la base du dialogue entre les ordinateurs : c'est par lui qu'on utilise la messagerie électronique, ou bien les envois de messages instantanés.

Et c'est seulement au début des années 1990 qu'une nouvelle couche est rajoutée sur internet pour former le World Wide Web, qui est le système de communication entre sites avec les hyperliens. Le web est donc relativement récent par rapport à l'invention de l'ordinateur.

Ainsi, ce qu'on appelle le wifi, n'a rien à voir avec le web : c'est juste une technologie qui permet de transmettre le protocole tcp/ip sans fil, c'est à dire de faire communiquer des ordinateurs ou des périphériques numériques sans fil. Mais il n'y a aucune information dans le wifi, c'est juste un support pour transmettre l'information.

Internet permet donc la mise en relation en temps réel d'ordinateurs à travers la planète.

### **Codification numérique, programmation algorithmique et temps réel**

On va aborder maintenant l'impact de la simulation du réel reposant sur la codification numérique et la programmation algorithmique

Tous les médias sont devenus numériques, et donc on a donc pu faire des calculs sur les données numériques représentant ces médias.

Au départ, les calculs étaient différés, et puis dans les années 2000, la puissance des ordinateurs ayant beaucoup augmentée, les calculs ont pu être réalisés quasiment instantanément à l'échelle humaine : c'est ce qu'on appelle le fameux temps réel.

Prenons l'exemple de la télévision analogique et de skype ou facetime : ce qu'on arrivait à faire au milieu du siècle dernier avec la transmission du son et de la lumière en direct en utilisant la vitesse du signal électrique, on peut le faire depuis une quinzaine d'année maintenant avec le calcul et la transmission de 0 et de 1. Le résultat est le même, mais la technologie sous jacente est complètement différente. A quoi ça sert alors, allez vous me dire ?

### ***Les nouvelles technologies au théâtre***

Les nouvelles technologies ont eu un impact révolutionnaire sur la manière dont les humains se sont développés ces 50 dernières années, et cela a notamment produit la mondialisation. Mais je vais

maintenant me limiter au domaine plus restreint qui nous concerne, à savoir le théâtre et le jeu théâtral. Et même en se limitant à un domaine circonscrit, comprendre l'impact des nouvelles technologies restent toujours un peu compliqué, et c'est là que je risque de vous perdre...

### **La possibilité d'une interaction entre matériaux et présences scéniques**

Le théâtre utilise depuis longtemps différents matériaux sur la scène : son, musique, lumière, machinerie, accessoire, image, vidéo, etc.

Quasiment l'ensemble de ces matériaux ont maintenant été codifiés numériquement par le processus décrit précédemment. Le processus numérique est donc devenu le sous-basement de toute la technique théâtrale, alors même que bien souvent le résultat final n'en laisse rien transparaître, car l'humain perçoit des informations analogiques à travers son œil, son oreille, ses sens en général.

Mais la question du numérique ne commence à vraiment concerner le théâtre qu'à partir de l'émergence du temps réel dans les processus de calcul. Du point de vue numérique, les matériaux son, image, lumière deviennent d'une même nature, c'est-à-dire des 0 et 1. Quand ils deviennent calculés en temps réel, ils peuvent alors dialoguer entre eux, on parle encore d'interaction, comme un comédien par exemple peut avoir une relation avec un musicien.

### **La numérisation des matériaux scéniques – survol**

Le travail sur le son a été précurseur : notamment avec le travail de l'IRCAM qui a eu un retentissement mondial. L'IRCAM a notamment permis de donner naissance au logiciel Max, qui a été un des premiers logiciels intermedia temps réel.

Puis ensuite la vidéo en temps réel a suivi avec Max/Jitter, Isadora, ou encore Milumin, ainsi que des outils de mapping numérique.

C'est un domaine très vaste, à la fois technique et artistique, qu'il n'est pas nécessairement utile d'aborder ici.

### **Numérisation de la présence du comédien sur le plateau**

Avant la numérisation des matériaux scéniques, on pouvait bien sûr utiliser la voix d'un comédien et son image avec une caméra et une projection vidéo, pour mettre en relation le comédien avec les matériaux sonores et visuels, voir scénographiques. Mais les moyens d'interaction de cette présence du comédien avec les matériaux sonore et visuel étaient coûteux et limités. Cela créait, et crée toujours d'ailleurs, un espace expressif possible à explorer et de nombreux metteurs en scène le font.

L'irruption du numérique temps réel a tout bouleversé. Concernant le comédien, cela implique d'abord une numérisation de sa présence par sa voix et son image, présence qui peut alors coexister au même titre que d'autres matériaux dans l'espace numérique scénique.

Et cette présence débouche immédiatement sur la notion complexe d'interaction, comme la conséquence de partager un même espace de représentation et de pouvoir interagir par du calcul en temps réel sur cet espace de représentation.

On accède alors potentiellement à la possibilité d'établir une relation entre la présence du comédien et son environnement numérique, de même nature que la relation entre deux présences de comédiens entre elles.

Cette notion de relation interactive avec l'environnement numérique existe donc depuis les débuts des années 2000 avec l'émergence du temps réel, mais elle commence seulement à impacter visiblement nos vies depuis quelques années avec le développement des réseaux sociaux, et de la prise de conscience de l'existence de data personnelles qui nourrissent en permanence notre environnement numérique quotidien.

## **La notion d'interaction d'une présence avec un environnement numérique**

### Interactions au sein des réseaux sociaux

Cette notion d'interaction entre une présence humaine numérisée et un environnement numérique n'est vraiment pas facile à appréhender, et pour mieux l'approcher, je vais faire un détour par la situation concrète du rapport au smartphone et aux environnements numériques que constituent les réseaux sociaux. On utilise à la fois un appareil technologique complexe et on utilise un logiciel (par exemple Facebook). On va se focaliser sur les échanges écrits et sur le fait de consulter des contenus et de les évaluer, ou liker si vous préférez : l'humain est présent dans le logiciel par sa manière d'écrire, ses contenus textuels et ses choix d'évaluation. Cette présence est d'emblée numérisée étant donné qu'on utilise un smartphone et qu'on utilise une interface logicielle. On clique à certains endroits, on écrit à d'autres, on utilise certaines fonctionnalités. Ce qui nécessite l'acquisition de compétences non négligeables.

Le principal intérêt de cette présence est de pouvoir interagir en temps réel : c'est inimaginable de ne pas avoir une réaction quand on fait quelque chose, et en retour le logiciel nous fait des réponses qui nous influencent fortement. Je ne vais pas entrer plus en détail sur les différentes facettes de



cette interaction complexe, mais on constate indéniablement un dialogue interactif qui se passe essentiellement par l'échange de texte et la manipulation d'une interface logicielle.

Le deuxième point est que cette présence numérisée dans le réseau social médiatisé par le smartphone est analysée finement pour créer à notre insu ou non une interaction profonde : de manière consciente, cela débouche sur une personnalisation de notre environnement qui nous facilite la vie, et à notre insu il y a un profilage de notre personnalité qui est faite pour nous adresser des contenus de publicité, ou pour orienter notre vision du monde.

Il y a donc une première possibilité d'interaction du fait de nous rendre présent dans la matrice numérique des échanges mondiaux.

Mais le plus important est que cette présence permet de simuler une personnalité qui permettra à la machine de comprendre l'humain dont elle perçoit la présence numérique et de pouvoir déployer une nouvelle interaction en transparence ou non par rapport à l'utilisateur.

### Interactions dans le contexte de la scène théâtrale numérisée.

On peut donc introduire la présence vocale ou visuelle d'un comédien dans le son ou les images. Et cette présence numérique peut interagir avec la matière numérique sonore ou visuelle. A quelle condition ?

Et bien il faut construire cette interaction, de la même manière qu'une personne déploie une interaction consciente avec le smartphone et l'environnement logiciel Facebook.

La voix peut devenir un instrument pour le comédien : on peut par exemple lui demander de conscientiser un rapport au volume sonore. Ce volume sonore permettra alors de déclencher des actions sur d'autres matériaux.

Ou bien on peut faire une analyse plus profonde de la voix pour en tirer des informations et un profil qui permettra d'établir une relation plus approfondie avec la machine et les matériaux numériques de l'espace scénique.

Le même raisonnement peut se faire avec l'image visuelle du comédien.

### ***Comment aborder les nouvelles technologies au théâtre ?***

C'est l'objet me semble-t-il de la séance de pratique et de réflexion d'aujourd'hui...

Je propose de reformuler l'enjeu de la manière suivante : comment aborder la question de la présence numérique d'un comédien sur un plateau théâtral ? Il y a de nombreuses voies, mais je

voudrais me concentrer sur deux voies qui me semblent plus accessibles et faire une première proposition.

### **Présence dans un environnement audio-visuel numérique**

Une première approche consiste à explorer la relation interactive du comédien à l'environnement scénique audiovisuel numérisé.

Il faut donc tout d'abord construire la présence numérique du comédien. Cela peut se faire par :

la numérisation sonore de sa voix captée par un micro

la numérisation de son image captée par une caméra

la numérisation de sa présence corporelle avec l'utilisation de capteurs physiques embarqués sur le corps.

Après il faut traiter cette présence en relation avec l'environnement numérique sonore et visuel, qui sont les deux matériaux les plus facilement convocables sur le plateau de théâtre.

Il faut donc être en mesure de travailler ces matériaux avec des logiciels d'édition temps réel. J'en ai cité quelques-uns plus haut.

Cela nécessite donc de maîtriser un minimum les logiciels temps réel et de construire des contenus sonore et visuel. Il faut donc acquérir une base d'écriture de l'environnement numérique scénique.

Il faut ensuite mettre en place des situations de jeu confrontant l'acteur et sa présence numérique aux environnements numériques sonores et visuels construits, tout cela dans une perspective interactive.

La question de la présence d'un comédien forme un tout : voix et corps. On peut travailler séparément sur chaque composante, mais c'est moins intéressant, notamment par rapport à la question du corps et de l'occupation de la scène.

Il faut donc équiper la scène pour travailler le son et l'image, avec micro, enceinte, caméra, vidéo projecteur, lumière, ordinateurs.

J'ai fait un travail de ce type sur un texte de Falk Richter avec les élèves d'Eric en 2014, et cela avait nécessité un déploiement conséquent de matériel.

Je le disais, la programmation des scénarios informatiques suppose une maîtrise minimum des logiciels temps réel. Je forme par exemple mes étudiants à Paris 8 à une maîtrise minimum de l'usage de la caméra et du logiciel Isadora afin de leur permettre de construire des situations de jeu interactives avec l'image numérique. Les exercices sont plutôt bien réalisés par les étudiants.

Mais je me suis aperçu que l'habitation d'une image vidéo posait des limites assez contraignantes à

un comédien dans l'usage de son corps en vue d'habiter un espace scénique numérique, notamment lorsqu'on dispose de peu de moyens scénographiques et techniques.

Le cadre de la caméra est contraignant et induit la prise en compte d'une présence visuelle numérique qui n'est pas facilement utilisable sur un plan spatial. Le corps est vite enfermé, et l'espace scénique visuel est coupé du plateau physique.

Pour que cela fonctionne de manière intéressante, il faut se projeter dans une vision de mise en scène utilisant le support visuel dans une dimension scénographique élaborée, ce qui demande des moyens qui sont hors de portée d'une formation en conservatoire.

### **Présence dans un environnement 3D virtuel**

J'explore pour mon propre travail, depuis plusieurs années, un autre rapport à l'environnement scénique numérique à travers l'utilisation d'image 3D et non plus simplement de vidéo en 2D.

L'image 3D, c'est par exemple un des supports du jeu vidéo. Un monde virtuel en 3D peut donc être reconstruit avec un logiciel d'édition de jeu vidéo (je vous en présenterai un tout à l'heure).

Un comédien ne peut pas être présent dans un monde 3D avec une simple captation caméra produisant une image 2D : il faut que son corps et ses expressions faciales soient captées en 3D dans l'espace. Au lieu d'une caméra, on utilise des périphériques de capture de performance pour construire la présence scénique du comédien dans l'image 3D.

Vous avez tous déjà vu ou peut-être même utilisé le son et la vidéo en interaction avec un comédien.

En revanche, l'approche 3D qui me semble la plus intéressante, vous est très probablement inconnue. Je vous propose donc maintenant de la découvrir en pratique. J'en commenterai les différentes facettes au fur et à mesure de la présentation.

Georges Gagneré, 14 décembre 2018