

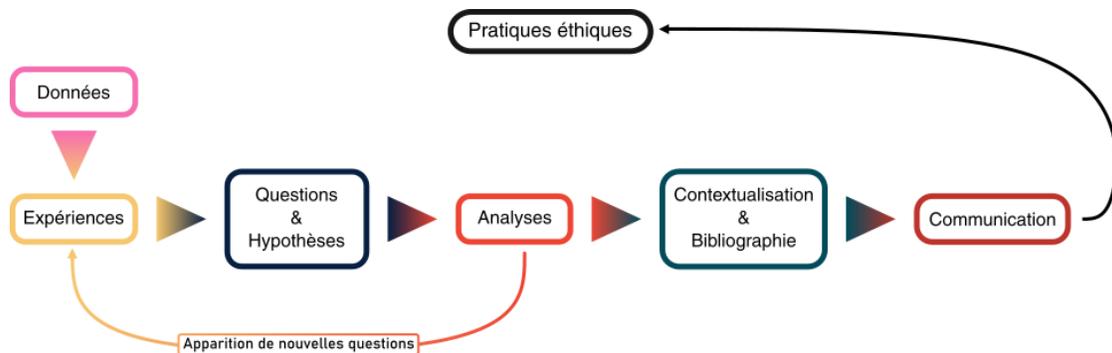
Méthodologie expérimentale en informatique OU

Recherche zen : éviter de stresser pour nos choix méthodologiques (débattables)

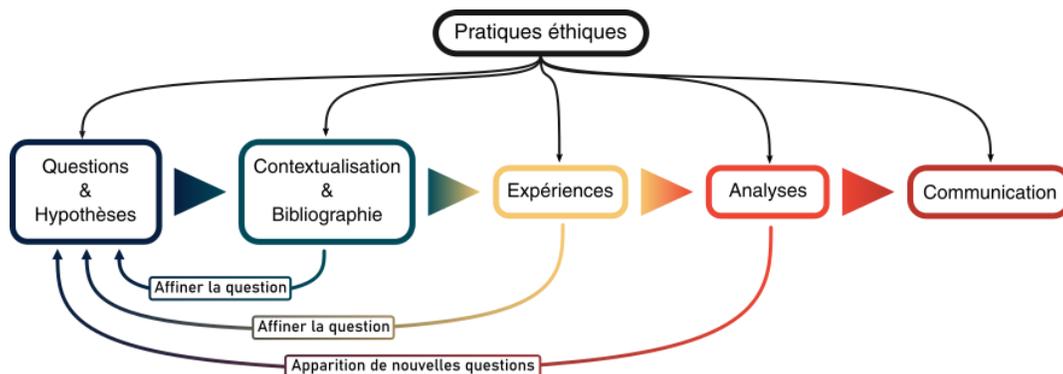
Manon Scholivet, Carlos Ramisch

Objectifs : Cette formation porte sur la méthodologie, les pratiques, les pièges à éviter etc. en **recherche expérimentale en informatique**, notamment dans des domaines liés à la **science des données, IA, apprentissage, TAL...** Le parti pris du cours est de s'appuyer systématiquement sur des **exemples** concrets, des **situations réelles ou réalistes**, pour ensuite aborder des notions plus abstraites de méthodologie scientifique. Chaque séance comporte des activités et **exercices pratiques** dont le but est de (a) rendre agréable le thème de la méthodologie scientifique, souvent considéré comme mineur ou ennuyeux, (b) justifier l'importance des notions abstraites via des exemples concrets, et (c) s'entraîner sur des compétences pratiques essentielles au travail scientifique, telles que la structuration de questions et hypothèses de recherche, la conception d'une expérience, la présentation de résultats, etc. L'objectif global du cours est de **construire collaborativement un idéal** de la méthodologie de recherche en science des données, et de le mettre en perspective par rapport aux pratiques actuelles, tout en nuancant la morale binaire de la "bonne / mauvaise" recherche. Les notions et compétences développées dans ce cours devraient aider les participant.e.s à **faire évoluer leurs pratiques** pour tendre vers cet idéal.

Volume horaire : 20h — 30h



Approche expérimentale usuelle en recherche en informatique.



Vue idéale proposée dans ce cours de la recherche expérimentale en informatique.

1) Questions et hypothèses de recherche

Dans cette première partie du cours, nous aborderons les questions de la démarche scientifique, du rôle de l'expérience et de l'empirisme dans la recherche scientifique, pour aboutir à la définition de questions et hypothèses de recherche, point de départ de toute contribution scientifique. Cette section aborde des thèmes liés à l'épistémologie, l'histoire et la philosophie des sciences en s'appuyant sur une approche participative et sur des supports pédagogiques et accessibles, plutôt que sur des ouvrages académiques. Le but est de susciter une réflexion critique sur la pensée scientifique, et de faire émerger l'importance des questions et des hypothèses qui orientent un travail de recherche scientifique (p.ex. thèse, article, stage).

Notions : Pensée scientifique, démarche scientifique, expérience, démarche empirique, question de recherche, hypothèse de recherche, caractérisation des "bonnes" et "mauvaises" formulations des questions et hypothèses de recherche.

Compétences : Développer un esprit critique sur le travail scientifique : son contour, son rôle, ses limitations. Formuler des questions de recherche pertinentes sur un sujet de son choix (p.ex. sujet de thèse) de manière claire, précise, directe et structurée, avec une ou plusieurs hypothèses associées à chaque question et sous-question.

2) Contextualisation et bibliographie

Poser clairement des questions et hypothèses de recherche ne garantit pas la qualité du travail scientifique. D'abord, il faut justifier l'intérêt et l'importance des questions de recherche par rapport à une application, un contexte, une avancée potentielle des connaissances dans un domaine. De la même manière, il faut également justifier de la plausibilité des hypothèses associées aux questions. Souvent, pour arriver à ces justifications, il est important de savoir si d'autres personnes se sont déjà posées ces mêmes questions, ou des questions similaires, et quel est l'état actuel de la connaissance (ou "l'état de l'art") dans ce domaine. En somme, une recherche bibliographique s'impose. Il existe des outils et des techniques pour structurer ce travail, mettre en perspective des résultats, et/ou identifier des biais dans les articles.

Notions : justification d'une question/hypothèse, état de l'art, recherche bibliographique, revue de la littérature (méta-analyse ou *survey*), lecture critique d'articles.

Compétences : Contextualiser une question de recherche par rapport à un besoin, une limitation identifiée, une application potentielle, etc. Naviguer dans des bases d'articles scientifiques (p.ex. ArXiv). Faire une bibliographie, un *survey* sur une question de recherche. Se positionner par rapport aux aspects méthodologiques d'un travail de recherche. Manipuler des outils d'organisation de bibliographie (p.ex. Zotero).

3) Expériences

Il n'est pas rare d'arriver à la fin d'un travail de recherche (p.ex. la rédaction d'un article), et de se dire alors qu'il aurait fallu refaire toutes les expériences différemment. Ces regrets sont

évitables si l'on prend le temps de bien concevoir le plan d'expériences (ou cadre expérimental), car la création de LA bonne expérience est au cœur de la recherche expérimentale. Comment créer une expérience qui permettra de vérifier les hypothèses posées ? De la conception de l'expérience aux méthodes d'évaluation, en passant par la question de l'obtention et préparation de données (annotées ou non), les différentes étapes pour bien construire les expériences sont nombreuses. À ce moment, des limitations des ressources à disposition peuvent nécessiter de revoir les questions et hypothèses de recherche. Il est important d'identifier où sont les pièges à éviter, et quelles sont les questions qu'il ne faut pas oublier de se poser. Dans ce module, nous aborderons ces questions sous l'angle de la science des données et du *machine learning*, sans pour autant détailler les modèles sous-jacents spécifiques à chaque travail de recherche.

Notions à transmettre : plan d'expériences (ou cadre expérimental), la notion d'expérience appliquée au *machine learning*, jeux de données, supervision, annotation, préparation de données (nettoyage, découpage train/dev/test), qualité des données (accord inter-annotateur.e, histogramme), conditions expérimentales (supervisé, *zéro-shot*, *few-shot*), hyper-paramétrage, gestion des expériences, carnet d'expériences ou *logbook*, mesures d'évaluation des prédictions (précision, rappel, F-mesure), généralisation, biais de mesure.

Compétences : Analyser une question de recherche très finement (découper la montagne). Concevoir des expériences pertinentes pour répondre aux questions et hypothèses de recherche. Concevoir des questions et hypothèses de recherche raisonnables par rapport aux possibilités expérimentales. Récupérer, pré-traiter, adapter, étendre et/ou créer des jeux de données adaptés aux expériences prévues. Organiser et documenter ses expériences pour gérer des conditions expérimentales nombreuses et complexes. Identifier, appliquer, adapter ou concevoir des mesures d'évaluation appropriées.

4) Analyses

Dans l'absolu, le résultat d'une expérience est une métrique dont la valeur permet de valider ou d'invalider une hypothèse. En pratique, les choses sont bien plus complexes. Chaque condition expérimentale (jeu de données, modèle, hyper-paramétrage ...) constitue une sous-expérience, souvent avec plusieurs métriques associées. La combinatoire des conditions expérimentales et des métriques peut mener à des milliers de résultats dont l'analyse requiert de la patience, de la rigueur, et des outils adaptés. Cette partie du cours présente certains outils d'analyse et de visualisation de résultats ainsi que des notions statistiques utiles pour découvrir des tendances (entropie, corrélation) et pour effectuer des comparaisons (significativité, *p-value*). Une analyse hâtive peut mener à des conclusions fausses (dissonantes vis-à-vis des hypothèses, ou pas appuyées par les résultats). L'absence d'analyse mène à des appréciations subjectives ("la performance du modèle est bonne") ou à des résultats bruts, passant sous silence le manque de conclusions. L'objectif de ce module est de présenter des outils pour éviter ces pièges rédhibitoires et ne pas se noyer dans le chaos des résultats. Quand il n'est pas possible de tirer des conclusions (résultat "négatif"), l'analyse permet de trouver de nouvelles questions de recherche.

Notions : manipulation de résultats (p.ex. pandas), entropie, variance, covariance, corrélation, intervalle de confiance, *p-value*, tests de significativité statistique (paramétriques, non paramétriques, tests approximatés par ré-échantillonnage), interprétabilité, explicabilité.

Compétences : Extraire des tendances et savoir résumer des résultats à l'aide d'outils statistiques. Énoncer des conclusions appuyées par l'évidence empirique. Formuler des hypothèses de recherche pour lesquelles on *peut* tirer des conclusions en fonction des résultats observés. Comparer des résultats d'expérience à l'aide d'outils statistiques. Identifier des pièges récurrents dans l'analyse des données (p.ex. corrélation \neq causalité). Dédire de nouvelles (sous-)questions de recherche à partir de l'analyse des résultats d'une expérience. Valoriser des "résultats négatifs" en déduisant des nouvelles questions de recherche plus pertinentes, plus détaillées, mieux formulées.

5) Communication

La communication des résultats de recherche a lieu sous la forme un rite ancestral : la publication d'articles scientifiques. Il s'agit d'une étape cruciale, souvent source de stress face au spectre impitoyable de la relecture par les pairs. L'art de la communication scientifique requiert une certaine expérience, mais la maîtrise des outils peut faire gagner du temps. Ce module aborde la structure, la forme et le contenu d'un document (article, mémoire, thèse) et d'une présentation (exposé oral, poster, vidéo) dans le contexte scientifique. Le principal défi consiste à utiliser le langage humain (imprécis) pour transmettre des notions complexes et abstraites de manière claire, précise, pédagogique et intéressante. Pour cela, on peut s'appuyer sur des outils tels que les tableaux, graphiques, schémas, équations et exemples. Ce module comportera des exercices pratiques de relecture critique et de mise en forme de résultats bruts. Des outils de gestion du temps et des astuces contre les syndromes de la page blanche et de l'imposteur complètent le répertoire d'instruments de navigation pour s'y retrouver dans un monde compétitif où ArXiv et twitter semblent remettre en question le modèle de publication scientifique.

Notions : plateformes en ligne d'écriture collaborative (overleaf), structure d'un article scientifique (introduction, état de l'art, méthode, résultats, discussion, conclusions), relecture.

Compétences : Extraire les contributions principales d'un travail et faire abstraction des détails. Concevoir et réaliser des tableaux, graphiques et schémas lisibles et pédagogiques dans les règles de l'art (nombre de décimales, légendes, couleurs). Formaliser une notion complexe par des équations, des symboles. Trouver des exemples illustratifs et les utiliser à bon escient pour communiquer sur sa recherche. Faire des diapositives et des posters agréables à visualiser.

6) Pratiques éthiques

Une publication marque souvent l'aboutissement d'une recherche scientifique, mais n'en est pas le point final. Aujourd'hui, une grande partie des revues et des conférences ont des pré-requis de reproductibilité (dans les mêmes conditions) et de réplicabilité (dans des conditions similaires). De plus, un travail aura plus d'impact si les données, le code-source, voire les modèles, sont mis à disposition de la communauté scientifique sous des licences libres (p.ex.

Creative Commons). Dans une optique de science ouverte, ces ressources doivent être documentées (p.ex. *data sheets*), anonymisées, publiées dans des dépôts publics garantissant la pérennité des URLs, suivre les principes *FAIR*, être stockées de manière sécurisée, avec des sauvegardes, et dans le respect de la RGPD. Le travail scientifique a des aspects éthiques et n'est pas sans impact pour la société : il comporte des biais, il a un coût énergétique, et il peut influencer la politique. Une bonne prise en compte de ces aspects devrait minimiser les biais et guider le choix des sujets de recherche vers une science plus intègre et consciente.

Notions : reproductibilité, répliquabilité, licence, dépôt de données, anonymisation, principes FAIR, RGPD, science ouverte, impact socio-environnemental de la recherche, *data sheets*, *model sheets*.

Compétences : Publier les données, code-source et modèles de sa recherche sur des dépôts publics. Choisir une licence et un mode de partage pour ses ressources. Connaître et appliquer la réglementation sur la gestion des données personnelles. Documenter et décrire une expérience pour la rendre la plus reproductible possible. Avoir un regard critique sur les biais présents dans sa recherche et son impact dans la société.