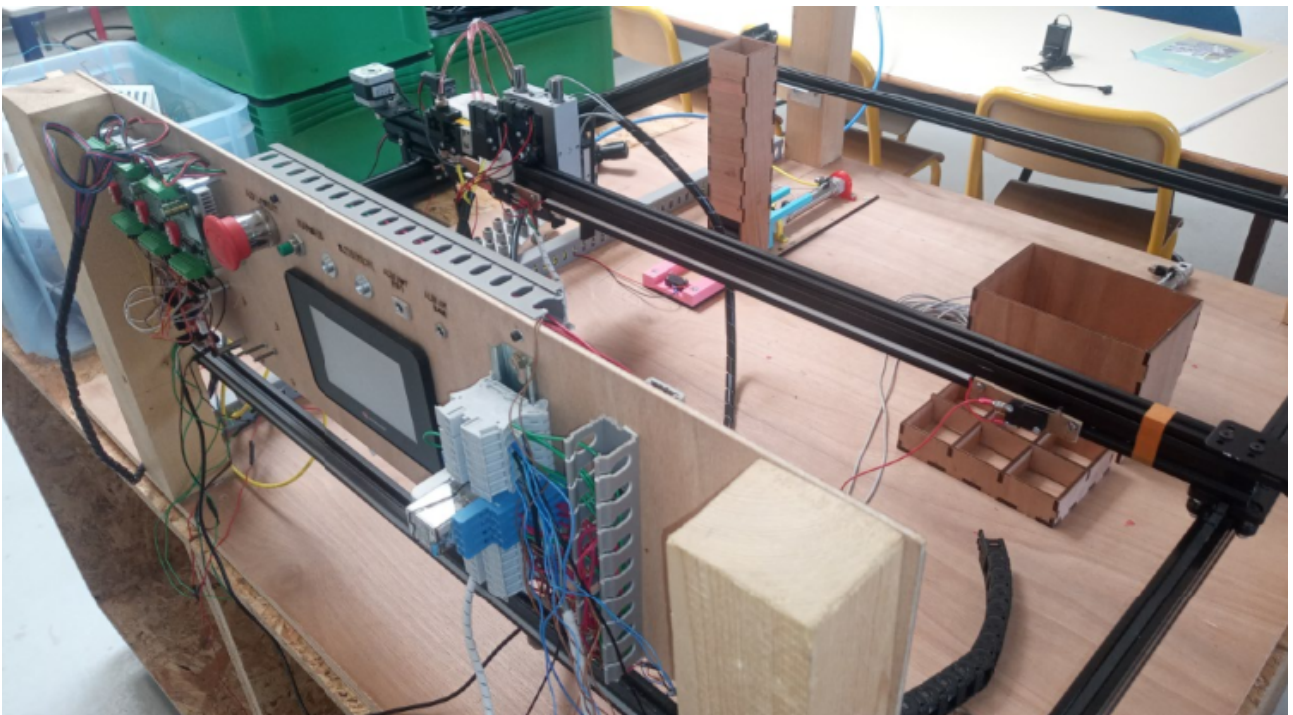


Analyse Éthico-Technique du Projet Pick&Place

Douae Choubri – Salma Letrach – Souad Ait Bellauali – Reda El Madani

Décembre 2025



Contents

1	Introduction	4
1.1	Contexte général	4
1.2	Objectifs de l'analyse éthique	4
2	Présentation du besoin et de la solution technique	5
2.1	Le besoin initial	5
2.2	Description du dispositif	5
2.3	Fonctionnement général	5
2.4	Raison d'être : valeurs et promesses	5
3	Identification des vulnérabilités et risques	7
3.1	Vulnérabilités humaines	7
3.1.1	Sécurité des opérateurs et étudiants	7
3.1.2	Ergonomie	7
3.2	Vulnérabilités techniques	8
3.2.1	Fiabilité mécanique et électronique	8
3.2.2	Risques liés à l'automatisme	8
3.2.3	Cybersécurité : protection de l'automate	8
3.2.4	Open source	8
3.3	Vulnérabilités sociales et organisationnelles	8
3.3.1	Passation et dette technique	8
3.3.2	Justice sociale et accès équitable	9
3.4	Vulnérabilités environnementales	9
3.4.1	Bilan carbone	9
3.4.2	Déchets électroniques	10
4	Évaluation éthique de la solution	10
4.1	Selon la bioéthique	10
4.2	Selon les visions environnementales	10
4.3	Selon les systèmes éthiques	11

5	Impacts humains, sociétaux et environnementaux	12
5.1	Impact sur l'humain	12
5.2	Impact sociétal	12
5.3	Impact environnemental	12
6	Recommandations	13
6.1	Sécurité et protection de l'automate	13
6.2	Améliorations pédagogiques	13
6.3	Améliorations écologiques	13
7	Conclusion	14

1 Introduction

1.1 Contexte général

Le projet Pick&Place s'inscrit au sein d'une réforme pédagogique visant à renforcer l'apprentissage par la pratique à l'ENIB. Initialement imaginé durant la pandémie de Covid-19 pour manipuler automatiquement des flacons de vaccins sans contact, il a évolué vers un support pédagogique interdisciplinaire destiné aux étudiants de ZG4.

Il fédère des enseignements variés : mécanique, électronique, pneumatique, automatisme industriel, informatique embarquée, interface opérateur, éco-conception et documentation technique. Il constitue ainsi un terrain d'apprentissage concret, réaliste et directement comparable à des systèmes industriels.

Dans un contexte technologique marqué par l'automatisation, la robotisation et l'intelligence artificielle, il devient nécessaire d'introduire une réflexion éthique autour des dispositifs techniques. Le Pick&Place n'est pas neutre : il produit des effets, crée des vulnérabilités, influence les pratiques et engage la responsabilité de ses concepteurs et utilisateurs.

1.2 Objectifs de l'analyse éthique

L'objectif de cette analyse est d'évaluer le système Pick&Place en identifiant sa raison d'être, ses valeurs et ses promesses pédagogiques, puis d'examiner les pratiques prévues ou non prévues ainsi que les risques qui en découlent. L'étude mobilise pour cela les notions centrales de l'éthique de l'ingénieur, notamment l'autonomie et la justice, l'éthique du care et l'analyse des vulnérabilités humaines, techniques, sociales et environnementales. Elle intègre également des outils contemporains tels que l'éco-conception, le bilan carbone, l'ouverture du code et la sécurité des automates. Enfin, elle vise à formuler des recommandations permettant d'assurer la sécurité, la durabilité du dispositif, en particulier la protection de l'automate et la qualité de la documentation et de la passation.

2 Présentation du besoin et de la solution technique

2.1 Le besoin initial

Le Pick&Place répondait d'abord à un besoin logistique : déplacer automatiquement des flacons pour réduire les manipulations à risque. Transposé au contexte pédagogique, il devient un support permettant aux étudiants d'expérimenter concrètement les principes de l'automatisation industrielle à travers une maquette fonctionnelle et sécurisée.

2.2 Description du dispositif

Le système comprend une structure mécanique pour les déplacements X–Y, un vérin pneumatique pour l'axe Z, des moteurs pas-à-pas, une carte électronique de commande, un automate programmable (PLC) et une interface opérateur pour piloter les différents modes. Les pièces imprimées ou usinées ont été conçues pour rester simples, robustes et économes en matière.

2.3 Fonctionnement général

Le dispositif repose sur trois modes de fonctionnement. À ce stade, **seul le mode manuel est totalement opérationnel**, tandis que les modes semi-automatique et automatique sont en cours de développement.

- **Mode manuel (fonctionnel)** : l'utilisateur contrôle directement les axes et la pince.
- **Mode semi-automatique (en cours)** : certaines étapes sont automatisées tandis que l'utilisateur supervise le cycle.
- **Mode automatique (prévu)** : réalisation complète d'un cycle de prise et dépôt sans intervention manuelle.

Le PLC agit comme un véritable *cerveau logique*, assurant la gestion des vitesses, des consignes, des temporisations, ainsi que la surveillance des capteurs et des sécurités.

2.4 Raison d'être : valeurs et promesses

Le projet **Pick&Place** a comme principe — celui d'un bras capable de manipuler des objets selon différents degrés d'automatisation — ce qui a constitué le point de départ **technique**, avant d'être intégré et réinterprété dans un contexte **éducatif** propre à l'ENIB.

Le dispositif n'est pas limité à un fonctionnement autonome : il propose un mode manuel pleinement opérationnel, dans lequel l'utilisateur définit les positions ou commande le vérin, tandis que le robot exécute automatiquement les mouvements correspondants. Il s'agit d'une **autonomie d'exécution**, où l'humain garde la décision tandis que le système assure la réalisation

sécurisée et précise des déplacements. Le développement se poursuit avec les modes semi-automatique et automatique, destinés à offrir à terme une autonomie totale du cycle de prise et de dépôt.

Cette gradation entre intervention humaine et automatisation progressive en fait un outil pédagogique conçu pour être **partagé** et manipulé par les étudiants, leur offrant un premier contact concret avec l'automatisation industrielle. La **convivialité** renforce cette dynamique : la prise en main intuitive encourage l'exploration et le travail collaboratif, dans un esprit d'échange propre à l'ENIB. L'ouverture du dispositif, notamment par la mise à disposition de ses plans, schémas et codes en **open source**, prolonge cette volonté de partage en permettant sa compréhension, son amélioration et sa réutilisation au fil des années.

L'**interdisciplinarité** se manifeste au cœur même du système. Chaque déplacement manuel, chaque étape partiellement automatisée et chaque décision prise par le PLC, ainsi que chaque variation de pression dans le circuit pneumatique, révèlent l'**interdépendance** entre mécanique, électronique, automatisme, informatique embarquée et ergonomie d'usage. Le **Pick&Place** devient ainsi un espace d'apprentissage où l'étudiant voit comment les différents domaines coopèrent pour produire un comportement cohérent, offrant une illustration concrète du fonctionnement industriel réel.

La **sécurité** constitue un pilier essentiel. Bien que pédagogique, le dispositif reprend les exigences du milieu industriel : capteurs de fin de course, contrôle du vérin pneumatique et bouton d'arrêt d'urgence. L'étudiant évolue ainsi dans un environnement où chaque mouvement du bras — manuel ou automatique — est pensé pour rester fiable et protégé.

La démarche **éco-responsable** a également guidé la conception. L'usage de matériaux recyclables ou biosourcés, la réduction de matière lors de l'usinage ou de l'impression, ainsi que le réemploi de composants traduisent la volonté de proposer une ingénierie sobre et durable, respectueuse des ressources et de l'environnement.

3 Identification des vulnérabilités et risques

3.1 Vulnérabilités humaines

3.1.1 Sécurité des opérateurs et étudiants

La sécurité constitue l'un des enjeux centraux du projet. Manipuler un système combinant mouvements mécaniques, air comprimé et alimentation électrique expose l'utilisateur à divers risques, comme des déplacements brusques, un trébuchement dû au tuyau, un défaut électrique, un blocage mécanique ou des erreurs liées au manque de formation. Pour limiter ces dangers, plusieurs dispositifs inspirés des normes européennes ont été intégrés :

Arrêt d'urgence et contrôle de l'énergie. Un bouton d'arrêt d'urgence verrouillable permet de couper instantanément l'énergie des mouvements. Lorsque celui-ci est actionné, le système s'immobilise immédiatement et ne peut redémarrer qu'après une action volontaire de l'utilisateur. Cela empêche tout redémarrage automatique imprévu, mais n'empêche pas la possibilité de diagnostiquer un problème ou de réinitialiser le système sans risque puisque la partie intelligence du robot reste alimentée.

Protection mécanique : fin de course. Pour éviter que le robot n'aille au-delà de ses limites physiques et ne s'endommage, des détecteurs sont placés aux extrémités de ses déplacements. S'ils sont atteints, le mouvement est coupé immédiatement; ce qui évite la surchauffe du moteur ou un danger potentiel pour l'utilisateur.

Ce système joue un rôle comparable à une ceinture de sécurité : il protège à la fois la machine et la personne qui l'utilise.

3.1.2 Ergonomie

L'ergonomie de l'IHM constitue une source majeure de vulnérabilités humaines : une interface peu lisible ou ambiguë peut entraîner des erreurs de commande, une fatigue visuelle ou une mauvaise interprétation des états du système. Les écrans *Movements Menu* , *Commande Vérins* et *Commande Pince* illustrent ces enjeux, car chacun déclenche directement des actions matérielles via le MSP430. La précision des libellés, la cohérence des couleurs, la visibilité des retours d'état et la disposition claire des boutons sont essentielles pour éviter les confusions entre axes, vérins ou pince. Une conception ergonomique est donc indispensable pour réduire les risques, garantir une compréhension immédiate des commandes et assurer une utilisation sécurisée du dispositif.

3.2 Vulnérabilités techniques

3.2.1 Fiabilité mécanique et électronique

La fiabilité du système peut être compromise par l'usure progressive des moteurs et des vérins, par l'échauffement de la carte électronique, par des problèmes de calibration ou encore par une alimentation électrique instable. Ces éléments constituent des points de fragilité susceptibles d'affecter la précision et la durabilité du dispositif.

3.2.2 Risques liés à l'automatisme

Les transitions entre les différents modes de fonctionnement doivent être soigneusement sécurisées afin d'éviter des mouvements imprévus ou incohérents, susceptibles de provoquer des collisions ou d'endommager le matériel.

3.2.3 Cybersécurité : protection de l'automate

L'automate présente une vulnérabilité majeure en cas d'accès non autorisé : une reprogrammation malveillante ou générée par IA, ou un dérèglement du code pourraient compromettre la sécurité du système, d'autant plus en l'absence de mot de passe ou de segmentation du réseau. **Sécuriser l'automate constitue ainsi une priorité pour les futures promotions.**

3.2.4 Open source

Rendre le projet open source facilite le partage et permet à tout le monde de comprendre, vérifier ou améliorer ce qui a été fait. Mais cette ouverture peut aussi créer des risques : une erreur dans le code peut être copiée sans que personne ne s'en rende compte, certains composants utilisés peuvent être peu fiables, et il devient parfois difficile de savoir qui est responsable si un problème apparaît. Il est donc important de garder un minimum de contrôle sur les contributions et de vérifier régulièrement ce qui est ajouté, afin d'assurer la sécurité et la qualité du système.

3.3 Vulnérabilités sociales et organisationnelles

3.3.1 Passation et dette technique

Un projet collectif repose sur sa capacité à être transmis dans de bonnes conditions. Lorsqu'une documentation claire et accessible fait défaut, la reprise par les promotions suivantes devient complexe, les mêmes erreurs risquent de se répéter et la dette technique s'accumule au fil du temps. Ces difficultés fragilisent la continuité pédagogique et limitent l'égalité d'accès au savoir. La passation apparaît ainsi comme un enjeu à la fois social et technique : elle garantit

que chaque génération d'étudiants dispose des mêmes ressources et ne soit pas pénalisée par un manque d'informations.

3.3.2 Justice sociale et accès équitable

Le projet s'inscrit dans une démarche de justice sociale en veillant à ce que les connaissances produites soient réellement accessibles à tous. Il offre aux futures promotions des conditions d'apprentissage équitables et encourage un accès inclusif aux technologies enseignées à l'ENIB. Toutefois, certaines inégalités peuvent se manifester, qu'il s'agisse de différences de compétences techniques à l'entrée ou d'un accès variable aux outils personnels et aux ressources numériques. Ces écarts ont été atténués grâce à une répartition réfléchie des tâches en fonction des forces de chacun, au travail en binômes favorisant l'apprentissage mutuel et à un partage régulier des connaissances pour éviter l'exclusion. Le projet soutient ainsi une dynamique collaborative et inclusive, permettant à chacun de progresser et de contribuer activement, quel que soit son niveau initial.

3.4 Vulnérabilités environnementales

3.4.1 Bilan carbone

- **L'impression 3D en PLA** présente une empreinte d'environ 1,2 kg de CO₂ par kilogramme de matière utilisée lorsque l'on prend en compte la production, le transport maritime et la consommation électrique d'une imprimante standard ¹.
- **La découpe laser** possède un impact plus variable, mais reste énergivore lors de la phase d'usinage : une machine fibre industrielle génère principalement des émissions indirectes liées à la consommation électrique et à la puissance du laser.².
- **Les automates industriels** ont quant à eux une empreinte carbone non négligeable, liée à la fabrication électronique, à l'usage de composants contenant des terres rares et à la production de déchets électroniques générés en fin de vie³.
- **La phase d'usage** du système entraîne une consommation électrique continue mais faible. Pour donner un ordre de grandeur, les impacts environnementaux liés à l'usage d'un petit équipement électronique restent très modestes par rapport à ceux associés à

¹ENS Rennes, *Calcul du coût écologique du PLA*, 2021 : 500 g CO₂/kg pour la production, 400 g CO₂/kg pour le transport maritime sur 10 000 km, 222 g CO₂/kg pour la consommation électrique d'impression, soit environ 1,2 kg CO₂/kg PLA. Source : <https://edu.ens-rennes.fr/mod/page/view.php?id=7797>

²Arketype, *Découpe laser fibre : tout savoir*, 2025 : Le laser fibre consomme moins d'énergie que les technologies CO₂ et affiche un rendement proche de 50 %. Source : <https://www.arketype-laser.com/fr/decoupe-laser-fibre---tout-savoir-->

³Webat Automation, *Automatisation et écologie : quel impact sur la planète ?*, 2025 : La fabrication de robots, capteurs et autres composants électroniques implique souvent l'utilisation de matériaux toxiques et de terres rares dont l'extraction est particulièrement dommageable pour les écosystèmes. Source : <https://www.webat-automation.fr/automatisation-et-ecologie-quel-impact-sur-la-planete>

sa fabrication, qui constitue de loin la phase la plus émettrice. Les analyses publiées par l'INSEE montrent en effet que, pour un appareil courant comme un smartphone, plus de 97 % des émissions proviennent de la phase de production, et non de l'utilisation⁴.

3.4.2 Déchets électroniques

Les automates et cartes électroniques génèrent des déchets dont le traitement reste complexe. La présence de plastiques techniques, de circuits imprimés et de métaux rares rend le recyclage difficile et énergivore. Cette limite souligne l'importance d'une utilisation raisonnée, d'une maintenance préventive et d'une réflexion sur la durabilité des composants employés.

4 Évaluation éthique de la solution

4.1 Selon la bioéthique

Deux principes guident principalement l'évaluation du Pick&Place. D'une part, **l'autonomie**, qui implique que les étudiants puissent comprendre et maîtriser le fonctionnement du système. Le dispositif propose une autonomie dite d'exécution : l'utilisateur choisit les positions ou les actions, et le robot exécute automatiquement les mouvements correspondants. Les modes semi-automatique et automatique, en développement, prolongent cette logique tout en exigeant une interface claire et une documentation accessible, afin que chacun puisse anticiper et contrôler le comportement du robot sans dépendance technique.

D'autre part, **la justice**, qui requiert un accès équitable au matériel, aux explications et aux ressources pédagogiques. Le caractère reproductible et ouvert du projet vise ainsi à garantir que tous les étudiants, quel que soit leur niveau initial, disposent des mêmes conditions d'apprentissage.

4.2 Selon les visions environnementales

Une lecture principalement **écocentrée** met l'accent sur l'intégration du Pick&Place dans une démarche durable cohérente avec les pratiques de l'ENIB. Elle invite à limiter l'impact des matériaux et procédés réellement utilisés — impression 3D en PLA, pièces en bois, découpe laser et composants électroniques — en privilégiant une conception sobre, réparable et documentée. Cette approche rappelle que l'objectif pédagogique ne peut être dissocié de la responsabilité écologique associée à la fabrication, à l'usage et à la fin de vie du dispositif.

⁴INSEE, *Économie et société à l'ère du numérique*, édition 2025 : 97 % des émissions liées à un smartphone proviennent de sa phase de fabrication. Source : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/8616809>

4.3 Selon les systèmes éthiques

Une lecture unifiée des cadres éthiques met surtout en avant la **responsabilité**. Du point de vue des conséquences, il s'agit de maximiser les bénéfices pédagogiques tout en maîtrisant l'empreinte carbone liée à la fabrication du dispositif. Sur le plan des devoirs et esprit du care, cette responsabilité implique de protéger les utilisateurs et de fournir une documentation fiable, ce qui rappelle l'importance de prendre soin des étudiants présents et futurs en transmettant un système durable, compréhensible et respectueux des ressources.

5 Impacts humains, sociétaux et environnementaux

5.1 Impact sur l'humain

Le Pick&Place réduit les manipulations potentiellement dangereuses en confiant certaines actions mécaniques à un système contrôlé et sécurisé. Il permet également aux étudiants de se familiariser avec des technologies industrielles réelles, ce qui valorise leurs compétences techniques et renforce leur autonomie. Le contact direct avec l'automatisation aide enfin à mieux comprendre la logique des capteurs, vérins et moteurs, souvent abstraite dans les cours théoriques.

5.2 Impact sociétal

Le projet encourage le travail collaboratif : chaque étudiant contribue à une partie du système et dépend des autres pour obtenir un dispositif cohérent. Cette dynamique réduit les écarts de niveau puisque la documentation ouverte et les explications partagées permettent à chacun de progresser. À l'inverse, une panne ou une mauvaise transmission entre promotions peut freiner l'apprentissage collectif, rappelant l'importance d'une maintenance rigoureuse et d'une passation structurée.

5.3 Impact environnemental

L'empreinte écologique du dispositif provient surtout de la fabrication : électroniques contenant des métaux rares, moteurs et vérins, pièces imprimées en PLA ou découpées au laser. L'usage quotidien consomme peu d'énergie, mais la fin de vie doit être anticipée par un tri des matériaux, le recyclage du PLA et le réemploi des pièces mécaniques lorsque c'est possible. L'intégration de matériaux renouvelables (bois, PLA biosourcé) et la réduction de matière lors de l'usinage contribuent à limiter l'impact global.

6 Recommandations

6.1 Sécurité et protection de l'automate

La protection de l'automate doit reposer sur quelques mesures fondamentales : l'activation d'un mot de passe, la limitation de l'accès au réseau interne, la tenue d'un journal des actions critiques et la mise en place de sauvegardes régulières. Une documentation claire est également indispensable pour faciliter la maintenance et éviter les erreurs de manipulation.

6.2 Améliorations pédagogiques

L'usage pédagogique gagnerait à être structuré autour de quelques principes : une charte définissant l'usage acceptable des outils d'IA, une sensibilisation à l'importance de comprendre avant d'automatiser, et l'obligation de documenter correctement chaque contribution afin d'assurer une passation fluide entre promotions.

6.3 Améliorations écologiques

Enfin, une démarche écologique cohérente invite à mesurer l'impact carbone du dispositif, à privilégier le réemploi des pièces existantes, à limiter lorsque possible la découpe laser et l'impression 3D, et à réfléchir à une alimentation plus sobre pour réduire l'empreinte énergétique globale.

7 Conclusion

Le projet Pick&Place constitue une plateforme pédagogique particulièrement pertinente : concret, interdisciplinaire et suffisamment proche des systèmes industriels pour offrir aux étudiants une compréhension réaliste de l'automatisation. Son intérêt repose sur sa capacité à fédérer plusieurs compétences — mécanique, électronique, automatisme et interface opérateur — au sein d'un dispositif cohérent et manipulable.

L'analyse éthico-technique rappelle toutefois que cette pertinence s'accompagne de responsabilités : protéger l'automate contre les accès non autorisés, garantir une documentation homogène pour éviter la perte de savoirs entre promotions et maîtriser l'impact environnemental, encore perfectible, lié principalement à la fabrication des composants.

Ainsi, l'éthique n'apparaît pas comme un cadre théorique extérieur, mais comme une condition de fiabilité et de durabilité du système. Protéger les machines, préserver les ressources et assurer la sécurité des utilisateurs : telle est la vocation de l'ingénierie responsable appliquée au Pick&Place.

Bibliographie

- ISO 10218-1 et ISO 10218-2. *Normes relatives aux robots industriels*. Disponible sur : <https://www.iso.org/standard/51330.html>.
- Unitronics. *Documentation technique du PLC et du logiciel UniLogic*. Disponible sur : <https://unitronicsplc.com/unistream/>.
- ENS Rennes (2021). *Calcul du coût écologique du PLA*. Disponible sur : <https://edu.ens-rennes.fr/mod/page/view.php?id=7797>.
- INSEE (2025). *Économie et société à l'ère du numérique*. Disponible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/8616809>.
- Webat Automation (2025). *Automatisation et écologie : quel impact sur la planète ?* Disponible sur : <https://www.webat-automation.fr/automatisation-et-ecologie-quel-impact-sur-la-planete>.
- Arketype (2025). *Découpe laser fibre : tout savoir*. Disponible sur : <https://www.arketype-laser.com/fr/decoupe-laser-fibre—tout-savoir—>.