

## Prospective

# ÉCONOMIE CIRCULAIRE ET RISQUES PROFESSIONNELS. Exercice de prospective pour cerner les enjeux de prévention

Le modèle économique linéaire consistant à extraire des matières premières, produire des biens, les consommer puis les jeter, est aujourd'hui remis en cause du fait de son impact environnemental et de la raréfaction des ressources. Dans ce contexte, le concept d'économie circulaire qui consiste à limiter les consommations de matières premières et d'énergie en modifiant les modes de production et de consommation (cf. Encadré 2), développé au début des années 2000, apparaît comme une alternative pertinente. En matière de santé et sécurité au travail, l'économie circulaire offre l'opportunité d'une prévention pensée en amont de la création de nouveaux modes de production, de nouveaux services ou produits. Mais elle peut aussi se traduire par des effets négatifs, si le souci de préservation de la santé des travailleurs est oublié au profit des seuls impératifs environnementaux. L'impact de ce modèle est ici abordé sous l'angle des risques professionnels, pour mieux appréhender les enjeux d'une prévention intégrée aux processus de production.

*CIRCULAR ECONOMY AND OCCUPATIONAL HAZARDS. A FORESIGHT EXERCISE TO IDENTIFY PREVENTION ISSUES– In terms of health and safety at work, the circular economy offers the opportunity for prevention thought upstream of the creation of new production methods, services or products. But it can also result in negative effects, if the concern for the preservation of workers' health is forgotten in favor of environmental imperatives alone. The impact of this model is here approached from the perspective of occupational risks, to better understand the issues of prevention integrated into production processes.*

MICHEL HÉRY, MARC MALENFER  
INRS,  
mission Veille et prospective

CATHERINE MONTAGNON  
INRS,  
direction des Applications,  
responsable scientifique de l'exercice

**L**e cinquième exercice de prospective de l'INRS<sup>1</sup> a été consacré aux développements possibles de l'économie circulaire et à leurs conséquences sur les conditions de travail et les risques professionnels. Comme les précédents, il a été mené avec des partenaires extérieurs, représentés au sein d'un groupe projet chargé du pilotage de l'exercice<sup>2</sup>. L'ensemble des écrits produits dans le cadre de ce travail (méthodologie utilisée, présentation du sujet, variables influant sur l'évolution du sujet considéré et leurs différentes hypothèses de développement possibles d'ici 2040, scénarios globaux résultant de la combinaison de ces hypothèses, conséquences en santé et sécurité au travail [S&ST]) ont été rassemblés dans un document [1].

L'objet de cet article est de décrire les principaux enjeux en matière de S&ST liés au passage d'une économie linéaire (modèle largement dominant aujourd'hui) à une économie circulaire, plus économe dans l'utilisation des matières premières et de l'énergie. Pour ce travail spécifique, les auteurs ont bénéficié du soutien de collègues de l'INRS<sup>3</sup>. Cet article est fondé sur une réflexion prospective. À travers les différents scénarios (cf. Encadré 1 p. 106) construits, des modèles de développement différents voire contradictoires ont été imaginés. Ces divergences se retrouvent inévitablement dans la détermination et l'évaluation des risques professionnels qui est faite dans l'article. L'objectif principal est donc bien d'identifier quels types de risques seront impactés (apparaîtront/disparaîtront).



© Laure Dorin pour l'INRS

tront, seront augmentés/diminués) par l'évolution vers une économie circulaire plutôt que de se livrer à un pronostic sur ce qu'ils seront exactement : l'approche qualitative prime ici sur l'approche quantitative.

### Qu'est-ce que l'économie circulaire ?

R. Le Moigne décrit ainsi notre modèle actuel de production et de consommation : « Notre économie est ainsi basée sur le modèle linéaire qui se résume à « extraire-fabriquer-consommer-jeter », qui consomme des ressources naturelles et de l'énergie pour fabriquer des produits qui deviendront, en fin de compte, des déchets » [2]. Parce que les ressources ne sont pour la plupart d'entre elles pas inépuisables, parce que la consommation des énergies fossiles est considérée comme l'un des facteurs majeurs du réchauffement climatique, il apparaît de plus en plus indispensable de substituer à ce modèle actuel de nouveaux modes de production et de consommation. L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) insiste sur le caractère évolutif de la définition de l'économie circulaire qui intègre au fur et à mesure ces nouvelles manières de produire et

de consommer, pourvu qu'elles soient économes en matières premières ou en énergie. L'état actuel de la réflexion est synthétisé sur le schéma de la figure 1 (cf. Encadré 2).

### Des conséquences sur l'ensemble de la chaîne de production

#### L'enjeu de l'automatisation et de l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour la prévention des risques professionnels

L'énumération des « piliers » identifiés par l'Ademe montre bien l'étendue des évolutions au niveau de la conception des produits par le développement du nouveau modèle économique (cf. Figure 1). Il s'agit en particulier d'éco-conception : c'est-à-dire de « recourir aussi peu que possible aux ressources non renouvelables en leur préférant l'utilisation de ressources renouvelables, exploitées en respectant leur taux de renouvellement et associées à une valorisation des déchets qui favorise le réemploi, la réparation et le recyclage » [5]. Il s'agit aussi d'écologie industrielle et territoriale. Et donc, de parvenir à une optimisation de la consommation de ressources et d'énergie à l'échelle de groupes



ENCADRÉ 1

**QUATRE SCÉNARIOS POUR LE PASSAGE D'UNE ÉCONOMIE LINÉAIRE À UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE**

**1. ÉCONOMIE CIRCULAIRE PORTÉE PAR LA MONDIALISATION**

L'économie circulaire se développe à l'échelle mondiale, portée par des acteurs privés. Le modèle économique est rendu possible par des innovations technologiques majeures découplant croissance économique et consommation de ressources, notamment les énergies fossiles. Cette transition s'opère dans un contexte de course à l'innovation entre grands opérateurs. Ses aspects vertueux correspondent aux attentes des consommateurs. Les pouvoirs publics accompagnent les mutations.

**2. VOLONTARISME POLITIQUE EUROPÉEN**

L'économie circulaire se développe fortement en Europe du Nord et occidentale. Le reste du monde ne suit pas immédiatement (faible opportunité, moyens financiers et techniques absents, etc.). L'Europe est motivée par l'instabilité géopolitique mondiale, l'évolution du climat, les questions d'approvisionnement en ressources importées et des crises conjoncturelles. Elle mène une politique articulée entre échelons européen, nationaux et régionaux. En 2040, elle est dans une situation plus favorable.

**3. MONDIALISATION LINÉAIRE**

La priorité des acteurs dominants reste la poursuite de la croissance économique et de la consommation, en particulier en Asie et Afrique. Cela produit des pénuries, une aggravation des tensions sociales, économiques et politiques, mais aussi une accentuation des changements climatiques et des dégradations des écosystèmes. Acteurs publics et privés promeuvent des actions de développement technologique pour optimiser la consommation des ressources et limiter les impacts environnementaux.

**4. TRANSITION GÉRÉE LOCALEMENT**

Malgré les impacts du changement climatique et la pression des citoyens, les États ne mettent pas en place d'actions coordonnées. Quand certaines entreprises voient une opportunité de croissance dans l'économie circulaire, une partie des citoyens fait le choix d'une « auto-organisation frugale ». Des écosystèmes locaux de transition se multiplient : productions locales, réemploi et sobriété sont privilégiés. Mais souvent, la sobriété s'impose de manière contrainte plutôt que choisie.

d'entreprises, de filières, de territoires, et même du système industriel dans son ensemble [6]. Enfin, il s'agit de s'inscrire dans une logique d'économie de la fonctionnalité, qui va privilégier la vente d'un service assuré *via* la mise à disposition d'un équipement plutôt que celle de l'équipement lui-même. À ce titre, le fournisseur sera amené à privilégier la durée de vie du produit. Cette économie de la fonctionnalité trouve son pendant dans la consommation collaborative, qui vise à favoriser la mutualisation (et la rentabilisation), le partage ou la location pour une durée déterminée des biens plutôt que leur possession individuelle [7]. À terme, c'est toute la chaîne de production et tout le cycle de vie des biens qui sont profondément modifiés.

Le principe même de la circularité impose la réutilisation de matières premières (qui seront désormais désignées comme « matières premières secondaires ») et d'éléments (pièces mécaniques, électriques, électroniques, etc.) ayant déjà été utilisés une ou plusieurs fois. Concernant d'abord les matières premières secondaires, elles n'auront pas toujours la même pureté que des matières de premier usage : les opérations de purification sont en effet très souvent gourmandes en énergie et/ou en eau. Il sera donc nécessaire d'adapter les process à ce nouveau contexte, pour plus de résilience, et une stabilité dans des conditions de

fonctionnement des procédés plus aléatoires. Les fluctuations dans les systèmes industriels peuvent en effet générer des accidents industriels ou des expositions professionnelles<sup>4</sup>. Certaines impuretés peuvent également présenter une toxicité particulière. De même, la réutilisation d'éléments déconstruits impose que les procédés de fabrication et l'utilisation par le consommateur intègrent le vieillissement progressif de ces éléments, qui ne doit en aucun cas conduire à un risque de rupture, liée à son usure.

À travers ces deux exemples (toxicité et prévention des accidents liés à des ruptures mécaniques), on met en évidence un fort besoin de traçabilité lié à l'économie circulaire. Il est à tout moment indispensable de connaître la composition d'une matière première secondaire ou d'un élément. Les Technologies de l'information et de la communication (TIC) sont donc appelées à jouer un rôle important. Quelles que soient les techniques employées (marquage physique ou virtuel, ou suivi de type *blockchain* par exemple<sup>5</sup>, moins gourmand en énergie), elles doivent permettre de garantir une parfaite connaissance de l'objet considéré, afin qu'il ne soit utilisé que dans des circonstances adéquates. Cette traçabilité devra aussi s'appuyer sur un système de référence solide. Selon les scénarios établis dans le cadre de l'exercice de prospective de l'INRS, cette référence peut être fournie

par la réglementation (rôle important des États fortement impliqués dans la politique industrielle, notamment en raison de considérations géopolitiques) ou par la normalisation (rôle prédominant des entreprises, en particulier des grandes entreprises classiques alliées aux Gafam<sup>6</sup> dans une version de haut niveau technologique de l'économie circulaire). La qualité du système de traçabilité est d'autant plus importante en matière de santé et de sécurité au travail qu'il doit protéger, en particulier, contre les possibilités de piratage, qui font courir des risques importants en cas de réutilisation de matières premières secondaires ou d'éléments déjà utilisés.

La fin de vie du produit doit être considérée dès la conception, afin que la déconstruction des éléments pouvant être réutilisés ou la récupération des parties pouvant être recyclées soient facilitées. Il s'agit là d'un enjeu très important en matière de conditions de travail. Compte tenu des évolutions récentes (et prévisibles dans les décennies à venir [7]), le recours à l'automatisation et aux TIC devrait être très important. Des exemples dans la déconstruction de voitures, étudiés au cours de l'exercice de prospective, montrent que des progrès considérables peuvent être effectués [9]. Ainsi, les manutentions peuvent déjà être évitées, de même que les postures pénibles : en particulier, des robots procèdent aux différentes opérations de retournement de la carcasse pour éviter à l'opérateur des postures contraignantes. La cobotique (collaboration homme-robot) permet d'éviter des efforts délétères, grâce à l'utilisation, par exemple, de pinces coupantes assistées, conçues initialement pour la désincarcération. Les TIC jouent également un rôle-clé. Elles sont utilisées pour suivre une voiture tout au long de la chaîne de déconstruction. Elles permettent aussi de fournir aux opérateurs, en fonction du modèle, une assistance dans la détermination des opérations à effectuer. Il s'agit d'un élément important en matière de prévention de risques professionnels, notamment en permettant d'alléger la charge cognitive de l'opérateur. Cependant, une utilisation de ces outils qui se traduirait par une augmentation des rythmes de travail (au motif que la pénibilité des tâches a diminué) ou une diminution de la capacité d'initiative des travailleurs (travail entièrement prescrit, voire dirigé dans le temps et l'espace par l'utilisation d'un exosquelette) pourrait avoir des conséquences défavorables en termes de troubles musculosquelettiques (TMS) ou de risques psychosociaux (RPS) [8].

Les TIC, utilisées pour réaliser la traçabilité des matières premières secondaires ou des éléments constitutifs d'un bien, pourraient également être utilisées pour embarquer les données essentielles à la prévention des risques professionnels corres-

## ENCADRÉ 2

### LE PÉRIMÈTRE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Selon l'Ademe, l'économie circulaire peut se définir comme un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement, tout en développant le bien-être des individus.



↑ FIGURE 1 – Le périmètre de l'économie circulaire selon l'Ademe [3]

Le passage vers une économie davantage circulaire implique des gains environnementaux, mais également des réallocations sectorielles d'emploi entre les activités intensives en matières et celles qui contribuent à les économiser (« éco-activités »). C'est pourquoi il est intéressant de mesurer le contenu en emploi de ces activités pour apprécier l'ampleur de la transformation à l'œuvre. La note d'analyse « *L'économie circulaire, combien d'emplois ?* » évalue le volume d'emploi aujourd'hui concerné à 800 000 équivalents temps plein (pour la France) [4].

L'économie circulaire interpelle toutes les politiques territoriales et les régions ont donc un rôle crucial à jouer en termes d'organisation et de portage de l'économie de ressources dans les politiques publiques et dans sa mise en œuvre par tous les acteurs locaux.

pondants, voire des recommandations techniques concernant les conditions d'utilisation des produits concernés. Ces données devraient pouvoir être actualisées dans le temps, en enregistrant les usages qui ont été faits de ces produits et les modifications qui leur ont été apportées.

#### La question centrale de la maintenance et de la réparation

Comme abordé précédemment, les biens devront être utilisés plus longtemps et par plusieurs utilisateurs. De la même façon qu'en fin de cycle de vie, ils devront pouvoir être déconstruits aisément pour pouvoir être partiellement réutilisés, pour partie recyclés. Ils devront également avoir été conçus pour pouvoir être réparés facilement. À part dans





© Louis Martin pour l'INRS

quelques secteurs spécifiques (réparation automobile, maintenance industrielle ou entretien de bâtiments), ces activités de réparation ont fortement régressé dans les pays occidentaux au cours des dernières décennies. D'autre part, si la question de l'énergie revêt une grande importance (tant pour maintenir des coûts de revient raisonnables qu'une bonne réactivité face à la demande), les réparations devront logiquement être effectuées dans des structures situées dans un rayon relativement proche<sup>7</sup>.

À partir de ces postulats de départ, plusieurs hypothèses (qui ne s'excluent pas les unes des autres et peuvent exister simultanément) ont été explorées en fonction des différents scénarios :

- celle d'un réseau de petites ou moyennes entreprises, organisé par les concepteurs et les fabricants des biens, plus ou moins spécialisées sur différents créneaux et intervenant en tant que sous-traitants ;
- celle de petites entreprises indépendantes, répondant aux diverses demandes émanant d'un secteur géographique de proximité ;
- celle, enfin, d'un fort investissement des entreprises de l'économie sociale et solidaire (ESS), qui trouvent dans ces activités de réparation des opportunités de réinsérer dans l'emploi des travailleurs qui en sont exclus ou qui développent sur ce créneau des activités de proximité stables, avec une main d'œuvre qualifiée.

Les conséquences en termes de risques professionnels sont différentes. Dans le premier cas, on est confronté à des entreprises qui ont *a priori* les moyens techniques de développer une vraie politique de prévention, mais auxquelles les moyens

économiques peuvent manquer (marges rétrécies par les contraintes de la sous-traitance), à moins qu'une logique vertueuse de responsabilité sociale d'entreprise soit promue par le donneur d'ordres. Dans les deux autres cas, outre une intervention moins normée que dans le premier, il faut considérer la difficulté à concevoir, équiper et organiser des ateliers, éventuellement avec un financement limité, dans lesquels des interventions techniques diversifiées seront réalisées. S'y ajoute, pour des travailleurs préalablement éloignés de l'emploi – en cours de réinsertion professionnelle dans le cadre de l'ESS – la nécessité d'un (ré)apprentissage des règles de sécurité au travail. Enfin, l'expérience en matière de conception de ce type d'atelier dans une logique « saine et sûre » est aujourd'hui limitée et tout un savoir-faire est à acquérir.

### Le recyclage - La relocalisation d'activités

Quels que soient les progrès dans le domaine de la conception et dans la durabilité des matériaux, la réutilisation d'éléments après la déconstruction des biens n'est pas infinie. Vient un moment où il faut envisager des opérations de recyclage, afin de récupérer notamment des métaux, éventuellement sous forme d'alliages. Des études de l'INRS ont déjà montré des niveaux d'exposition professionnelle, parfois élevés, à des polluants assez divers et la difficulté de mettre en œuvre des mesures de protection, comme le captage et la ventilation dans ces ateliers [10-13]. Même si l'essentiel de la littérature est consacré au recyclage des déchets d'équipements électroniques, d'autres études montrent que le problème ne se limite pas à ces équipements et que c'est l'ensemble de la filière du recyclage qui est confrontée à des difficultés pour assurer des atmosphères saines [14]. L'hétérogénéité de la matière à recycler représente en particulier un élément majeur dans la conception et le dimensionnement des installations. Elle entraîne notamment une difficulté à réguler les process, qui se traduit par des dysfonctionnements, eux-mêmes potentiellement générateurs d'émissions.

Plus la transition d'une économie linéaire vers une économie circulaire avancera, plus les quantités de produits à recycler augmenteront (sauf à rester dans une logique territoriale morcelée). Et il est possible, qu'à terme, il soit plus facile de constituer des lots plus homogènes. Cependant, même si la qualité de la collecte s'améliore, les opérations de tri resteront probablement indispensables et elles figurent parmi les plus exposantes pour les travailleurs. Il serait antinomique que la logique d'économie circulaire adoptée se traduise par une poursuite de l'exportation d'une part importante de ces déchets vers des pays tiers, comme cela se pratique actuellement.

Plus généralement, cette démarche peut conduire à la relocalisation d'usines, dont la production avait été tout au long des dernières décennies transférée dans des pays généralement moins exigeants quant aux réglementations du travail et de l'environnement. Compte tenu des évolutions des techniques au cours des dernières décennies, il est légitime de penser que ces unités de production, réimplantées en France, feraient la part belle à l'automatisation. Deux inconnues subsistent encore pour évaluer la plausibilité de cette hypothèse :

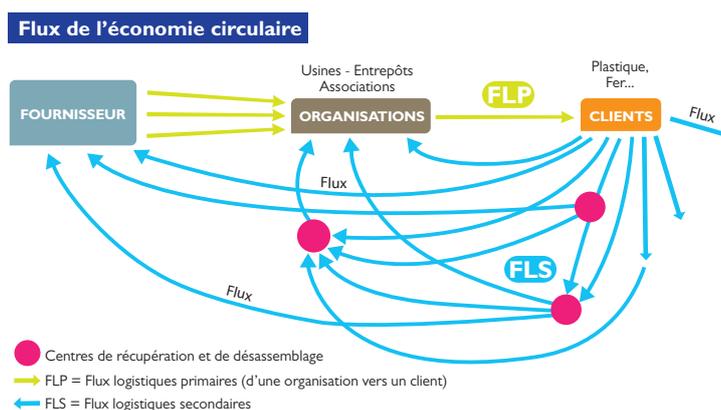
- les coûts respectifs du travail humain et de la robotisation : la baisse du coût du travail le moins qualifié ces dernières années ne constitue pas un encouragement à l'automatisation de certaines tâches ;
- *a fortiori*, quand ces tâches requièrent une habileté, une flexibilité ou une intelligence situationnelle pour lesquelles les machines n'égalent pas encore les êtres humains.

Cela s'inscrit en outre dans un contexte dans lequel les emplois pourraient se raréfier. C'est notamment ce qu'indiquent de nombreuses études de prospective récentes : même si les appréciations diffèrent sur l'ampleur du phénomène, elles convergent toutes vers un transfert d'emplois (en particulier ceux qui sont moyennement qualifiés) vers l'automatisation [15]. Cette même automatisation, dont on a vu précédemment qu'elle pourrait, à cause de politiques publiques (baisse des charges sur les plus bas salaires) ne pas profiter, autant qu'il serait souhaitable, aux métiers les plus exigeants physiquement.

### Transports et logistique : un développement des flux contre-intuitif, mais pas forcément synonyme d'une augmentation des distances parcourues

De façon apparemment paradoxale, l'économie circulaire a plutôt pour effet d'augmenter les flux de transport plutôt que de les diminuer, même si la logique d'écologie industrielle et territoriale vise à diminuer les distances parcourues par les marchandises. Cette situation est illustrée sur le schéma présenté sur la Figure 2. Pour cette raison, il sera important d'agir sur des paramètres, comme la capacité et le taux de remplissage des véhicules, notamment pour les trajets retour, afin de diminuer les externalités négatives (émissions, saturation du trafic...).

En effet, il faudra disposer d'une logistique adaptée, permettant de récupérer les produits chez l'utilisateur ou dans des points relais. Il s'agira ensuite de trier, réparer, reconditionner, déconstruire pour récupérer certaines parties qui seront réutilisées, recycler en tant que matière ou déclasser en déchets ultimes certaines parties. Sur la base des



↑ FIGURE 2 Exemple d'organisation des flux dans une logique d'économie circulaire.

pratiques actuelles, cette situation peut se traduire par l'apparition ou le développement d'un certain nombre de risques professionnels :

- ceux liés aux opérations déjà citées et à la collecte qui les précède : principalement des risques physiques tels que les lombalgies et les troubles musculosquelettiques, mais aussi des risques chimiques, biologiques et mécaniques ;
- ceux liés aux éventuelles transformations subies par les biens collectés, avec la plupart du temps une absence complète de traçabilité. À ce titre, le nettoyage des contenants utilisés pour les retours peut, par exemple, devenir un enjeu de prévention important.

Il sera nécessaire de développer de nouvelles organisations dans le domaine de la logistique et du transport. Ces transformations pourraient aboutir à la mise en œuvre opérationnelle du concept d'« Internet physique ». Celui-ci se caractérise par un mode de circulation des produits physiques en « paquets » standardisés et routés via des hubs<sup>B</sup> automatisés (comme le sont les données sur l'Internet numérique). Cet internet physique peut présenter des opportunités d'amélioration en santé au travail. La standardisation des contenants, l'automatisation du chargement, du déchargement et des flux de containers dans les hubs permettront de diminuer les risques liés à la manutention. Parmi ces risques, on peut citer ceux liés au port de charges lourdes, mais aussi au picking, opération qui consiste à prélever et à rassembler les articles dans la quantité spécifiée par la commande. De même, la création de ces hubs, géographiquement bien répartis, devrait permettre à tous les conducteurs d'éviter les nuits hors de leur domicile, améliorant ainsi leur qualité de vie. Mais les acteurs de la dernière étape, comme ceux de la première (« dernier et premier kilomètre »), seront confrontés à des risques potentiels, liés en particulier à la manutention : chargements et déchargements, dégroupages, contrôles et rapports avec le destinataire final. Des solutions techniques, comme les robots d'assistance physique, devraient permettre de diminuer la pénibilité de ces postes [16].





© Philippe Castanio pour l'INRS

### **Conclusion : prévenir les risques professionnels dans tous les secteurs, indépendamment des formes d'emploi**

Il est évident que le passage d'un modèle de production linéaire à un modèle circulaire ne peut intervenir que progressivement. Du point de vue de la S&ST, ces délais sont *a priori* plutôt bienvenus, car ils permettent d'intégrer la prévention en amont des nouveaux dispositifs. On a vu que le nouveau modèle va impliquer une modification profonde des modes d'organisation de la production, avec des conséquences importantes sur la conception et les matières premières (secondaires en l'occurrence) au sens large. Il faudra bien sûr faire en sorte que ces nouveaux procédés accordent toute leur place à la prévention des risques professionnels; mais force est de constater que, pour l'instant, les progrès en matière de robotique ou de TIC ne sont probablement pas assez avancés pour le garantir. Quoi qu'il en soit, la technologie au sens large va probablement jouer un rôle majeur dans cette mutation.

Mais il serait réducteur de se focaliser sur ces seuls aspects techniques. D'un point de vue humain, le rapport au travail pourrait également changer de façon très significative. Le sens du travail peut être modifié de façon déterminante pour certaines fonctions de l'entreprise. Il ne s'agit plus de concevoir pour vendre davantage, mais de privilégier le service rendu en considérant le moyen et le long termes. Ainsi, par exemple, les fonctions marketing pourraient être radicalement remises en cause, de même que les services après-vente. Ces changements seront progressifs, la transition de l'économie linéaire vers l'économie circulaire s'effectuant

à des rythmes variables selon les secteurs d'activités : on peut cependant penser que, comme tous les changements, ils peuvent être potentiellement déstabilisants pour certaines catégories de travailleurs et nécessiteront des efforts de formation conséquents.

Cet article y fait peu allusion, mais la question de la sous-traitance pourrait constituer une autre pierre angulaire. Dans une phase transitoire, des opérations importantes et amenées à croître en volume, comme le tri, pourraient être confiées à des entreprises extérieures, puisque ne faisant pas partie du « cœur de métier » de l'entreprise utilisatrice. De même, les questions de maintenance (et de nettoyage) pourraient prendre une importance particulière, avec des procédés industriels moins stables, du fait de la plus grande variabilité de la composition des matières premières secondaires utilisées : il s'agit aussi souvent de travaux externalisés. Dans ce contexte, une attention particulière devra également être portée au suivi médical des opérateurs, compte tenu de leur mobilité qui est susceptible d'augmenter. Retracer les expositions professionnelles de certains travailleurs pourra alors s'avérer particulièrement complexe. Quels que soient les métiers et les tâches concernés, c'est aussi dès la conception que les questions de prévention des risques professionnels devront être traitées.

Enfin, il convient de réaffirmer le fait que traiter correctement une question du point de vue environnemental n'est en rien un gage de réussite pour les questions de santé et sécurité au travail. La logique, le contexte et les méthodes de travail sont différents et les intérêts immédiats peuvent être antagonistes. ●

1. Voir, à propos des exercices de prospective successifs menés par l'INRS : [www.inrs.fr/prospective](http://www.inrs.fr/prospective)
2. Membres du groupe projet : Mmes et MM. B. Courrier (INRS), F. Debil (Anses), C. Desauvay (Futuribles), O. Gaudeau (Indra), F. Goetz (président Employeurs CTN C Cnam), C. Gomy (Envie), L. Grégoire (Centrale-SupElec), L. Lambolez (Veolia), L. Laurent (INRS), P. Le Guirrinec (président Salariés CTN C ; CFTD), R. Le Moigne (Gate C), A.C. Richardot (CCI France), D. Schaeffner (Cramif), L. Thomasset (Carsat Rhône-Alpes) et A.-S. Valladeau (INRS).
3. En particulier : Mmes S. Brunet, C. David, N. Guillemey, et MM. N. Bertrand, P. Canetto, L. Claudon, F. Gérardin, P. Laine, J. Leichlé, S. Miraval, B. Siano et E. Silvente.
4. Plus un lot de matières premières (secondaires dans ce cas particulier) est hétérogène, plus il est difficile de piloter un process. Il y aura donc nécessité d'adapter les process pour minimiser les fluctuations dues à cette hétérogénéité. Les rendements en seront probablement affectés, mais cela devrait permettre de progresser en termes de prévention des risques d'accidents industriels ou d'expositions professionnelles.
5. La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle (définition de Blockchain France). Par extension, une blockchain constitue une base de données qui contient l'historique de tous les échanges effectués entre ses utilisateurs depuis sa création. Cette base de données est sécurisée et distribuée : elle est partagée par ses différents utilisateurs, sans intermédiaire, ce qui permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne. Il en existe des publiques (ouvertes à tous) et des privées (accès et utilisation limités).
6. Gafam est l'acronyme des géants du Web – Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft – les cinq grandes firmes américaines (fondées entre le dernier quart du XX<sup>e</sup> siècle et le début du XXI<sup>e</sup> siècle) qui dominent le marché du numérique, parfois également nommées les Big Five, ou encore « The Five ». Cet acronyme correspond au sigle Gafa initial, auquel le M (pour Microsoft) a été ajouté.
7. Pour garantir une bonne réactivité (éviter que les réparations se fassent sur des temps trop longs), il convient d'envisager la création d'ateliers de proximité. Cette solution présente aussi l'avantage de limiter la consommation d'énergie liée à l'envoi et au retour vers ces ateliers de réparation.
8. Le terme de hub est spécifiquement employé dans les domaines suivants. Dans les transports, un hub ou plate-forme de correspondance est une zone d'interface privilégiée par sa position spatiale et ses infrastructures de communication : dans l'aviation, un hub aérien ou plate-forme de correspondance aéroportuaire est un aéroport qui permet aux passagers de changer rapidement et facilement de vol. En informatique, un hub, appelé aussi concentrateur, est un appareil permettant d'interconnecter physiquement plusieurs appareils, typiquement des ordinateurs (connexions réseau Ethernet via hub Ethernet) ou encore des périphériques (hub USB, Firewire,...), mais aussi parfois un commutateur ou un routeur. Le modèle hub and spoke est un modèle d'architecture de réseau.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] INRS – Économie circulaire en 2040. Quels impacts en santé et sécurité au travail ? Quelle prévention ? Avril 2019. Accessible sur : [www.inrs.fr/prospective](http://www.inrs.fr/prospective)
- [2] LE MOIGNE R. – L'Économie circulaire. Fonction de l'entreprise. Paris, Dunod, 2014.
- [3] ADEME – Fiche technique. Économie circulaire : notions. Accessible sur : [www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf)
- [4] FRANCE STRATÉGIE – L'économie circulaire, combien d'emplois ? Note d'analyse. Avril 2016. Accessible sur : [www.slideshare.net/France-Strategie/lconomie-circulaire-combien-demplois](http://www.slideshare.net/France-Strategie/lconomie-circulaire-combien-demplois)
- [5] ADEME – Stratégie et études. Économie circulaire : bénéfices socioéconomiques de l'écoconception et de l'écologie industrielle. Ademe & vous N° 33, octobre 2012. Accessible sur : [www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe-strategie-etude-33.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/ademe-strategie-etude-33.pdf)
- [6] ADEME – L'écologie industrielle et territoriale, mars 2019. Accessible sur : [www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-industrielle-services/passer-a-laction/lecologie-industrielle-territoriale](http://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-industrielle-services/passer-a-laction/lecologie-industrielle-territoriale)
- [7] ADEME – L'économie de la fonctionnalité, mars 2019. Accessible sur : [www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire/economie-fonctionnalite](http://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire/economie-fonctionnalite)
- [8] INRS – Modes et méthodes de production en France en 2040 : quelles conséquences pour la santé et la sécurité au travail ? (Travailler en bonne santé en 2040), décembre 2016. Accessible sur : [www.inrs.fr/inrs/prospective-quel-travail-demain.html](http://www.inrs.fr/inrs/prospective-quel-travail-demain.html)
- [9] INDRRA – Accessible sur : [www.youtube.com/watch?v=61hmbQMYL\\_U](http://www.youtube.com/watch?v=61hmbQMYL_U)
- [10] PELTIER A., ELCABACHE J.M. – Traitement des déchets des piles et accumulateurs usagés. Enquête dans des entreprises spécialisées. *Hygiène et sécurité du travail*, septembre 2003, 192, pp. 5-19. Accessible sur : [www.inrs.fr/hst](http://www.inrs.fr/hst)
- [11] GERARDIN F., SUBRA I., MASSON A., ELCABACHE J.M., MORELE Y. – Mise en évidence du risque chimique associé au retraitement des piles alcalines/salines et caractérisation de leur composition organique et minérale. *Hygiène et sécurité du travail*, mars 2008, 210, pp. 25-32. Accessible sur : [www.inrs.fr/hst](http://www.inrs.fr/hst)
- [12] LECLER M.T., ZIMMERMANN F., SILVENTE E., CLERC F., CHOLLOT A., GROSJEAN J. – Exposure to hazardous substances in Cathode Ray Tube (CRT) recycling sites in France. *Waste management*, 2015, 39, pp. 226-235.
- [13] CHOLLOT A., SILVENTE E. – Prévention des risques professionnels dans la filière des déchets d'équipements électriques et électroniques. *Hygiène et sécurité du travail*, juin 2017, 247, pp. 64-68. Accessible sur : [www.inrs.fr/hst](http://www.inrs.fr/hst)
- [14] NEW-YORK STATE (DEPARTMENT OF HEALTH) – Preventing Lead Exposure during Metal Recycling. Accessible sur : [www.health.ny.gov/environmental/workplace/metal\\_recycling/](http://www.health.ny.gov/environmental/workplace/metal_recycling/)
- [15] MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE – Jobs lost, jobs gained : what the future of work will mean for jobs, skills and wages? Novembre 2017.
- [16] INRS – Utilisation des robots d'assistance physique en France en 2030. Novembre 2015. Accessible sur : [www.inrs.fr/inrs/prospective-quel-travail-demain.html](http://www.inrs.fr/inrs/prospective-quel-travail-demain.html)