

# Théorie du chaos et thermodynamique appliquées à la sociologie de l'information

## Introduction

La **sociologie de l'information** s'intéresse à la manière dont l'information est produite, diffusée et utilisée dans les sociétés. Dans un monde d'interactions numériques et de données omniprésentes, les phénomènes sociaux liés à l'information présentent une grande **complexité** : des milliers d'individus interagissent, des rumeurs se propagent en quelques secondes et les systèmes techniques réagissent avec une vitesse et une sensibilité qui rendent les dynamiques difficiles à prévoir. Deux ensembles théoriques peuvent aider à penser cette complexité : la **théorie du chaos**, née des mathématiques et des sciences physiques, et les concepts de **thermodynamique**, en particulier la notion d'**entropie**. Leur transposition aux sciences sociales requiert toutefois prudence et nuances.

## Fondements de la théorie du chaos

### Origines et définition

La théorie du chaos étudie les **systèmes dynamiques non linéaires** dont l'évolution dépend de façon sensible des conditions initiales. Dans un tel système, de petites différences au départ conduisent à des trajectoires très différentes ("effet papillon"). Dhillon et Ward expliquent que le chaos est une discipline émergente centrée sur l'étude des systèmes dynamiques non linéaires et qu'un système chaotique possède plusieurs états d'équilibre possibles : stable, instable ou chaotique <sup>1</sup>. Un **système stable** est dominé par un **rétro-contrôle négatif** : les perturbations sont amorties et le système converge vers un nouvel état d'équilibre <sup>2</sup>. Un **système instable** est dominé par un **rétro-contrôle positif** : des petites variations s'amplifient de manière exponentielle <sup>3</sup>. Un **système chaotique** combine simultanément rétro-contrôles positifs et négatifs ; il peut évoluer vers un point attracteur (équilibre unique), un attracteur périodique ou un **attracteur étrange** où l'évolution semble erratique mais est déterministe <sup>4</sup>. Cette dynamique est illustrée par la carte logistique et par le **paradoxe du prédictif** : à court terme certains comportements restent prévisibles, mais à long terme la trajectoire devient imprévisible.

### Sensibilité aux conditions initiales et attracteurs

Dans un système chaotique, de très petites variations des conditions de départ provoquent des divergences rapides. L'illustration classique est la *carte logistique* :  $x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$ . Lorsque le paramètre  $r$  dépasse 3,57, les itérations passent d'un comportement stable à des cycles périodiques puis à un comportement chaotique. Deux valeurs initiales proches tendent vers des trajectoires très différentes. La théorie du chaos distingue plusieurs **types d'attracteurs** :

- **Attracteur ponctuel** : le système converge vers un état fixe ;
- **Attracteur périodique** : il oscille entre plusieurs états réguliers ;
- **Attracteur étrange** : il n'y a pas de périodicité, les trajectoires ne se répètent pas, mais elles restent confinées dans une région de l'espace des phases <sup>4</sup>.

## Application aux systèmes d'information et aux phénomènes sociaux

Dhillon et Ward montrent que la théorie du chaos fournit un cadre pertinent pour étudier les **systèmes d'information** : les organisations sont des systèmes dynamiques soumis à de multiples rétro-actions, et l'évolution de leurs systèmes d'information est intrinsèquement imprévisible à long terme <sup>5</sup>. Les auteurs soulignent que les changements induits par les technologies de l'information sont difficiles à prévoir car les interactions sociales et organisationnelles créent des **cycles de rétro-action** rendant les comportements non linéaires <sup>6</sup>. Dans la sociologie de l'information, ce constat se traduit par le fait que la circulation des informations, l'apparition de mèmes ou la diffusion de rumeurs suivent des trajectoires chaotiques : des motifs récurrents existent, mais ils sont sensibles à des déclencheurs microscopiques (ex. un message qui devient viral à partir d'un tweet anodin).

## Principes de la thermodynamique

### Les lois fondamentales

La thermodynamique décrit comment l'énergie et l'entropie évoluent dans les systèmes physiques. Dans la vision classique, quatre lois s'appliquent : le **zéroième loi** (transitivité de l'équilibre thermique), la **première loi** (conservation de l'énergie interne), la **deuxième loi** (l'entropie totale d'un système isolé ne peut qu'augmenter ou rester constante) et la **troisième loi** (l'entropie tend vers une constante lorsque la température approche le zéro absolu). La deuxième loi introduit la **flèche du temps** : l'évolution naturelle va vers des états de plus grande entropie et l'ordre nécessite un apport d'énergie externe. Le blog Farnam Street vulgarise cette idée : l'entropie mesure le **désordre d'un système** ; une chambre ordonnée (faible entropie) devient chaotique si on n'y investit pas d'énergie pour la ranger <sup>7</sup>. L'ordre est donc artificiel et temporaire, tandis que le désordre survient spontanément <sup>8</sup>. Clausius a montré que seule une partie de l'énergie thermique est convertie en travail ; le reste est dissipé et accroît l'entropie <sup>9</sup>.

### Entropie : désordre, incertitude et information

L'entropie possède plusieurs définitions complémentaires :

- **Entropie thermodynamique (Clausius)** : grandeur calculée à partir du rapport  $dQ/T$  exprimant la quantité de chaleur échangée à une température donnée. Dans un système isolé, l'entropie reste constante ou augmente jusqu'à atteindre un maximum, état de **thermodynamique d'équilibre** <sup>10</sup>. Lorsque toute l'énergie libre est consommée, le système s'immobilise et atteint un état de mort thermique <sup>11</sup>.
- **Entropie statistique (Boltzmann)** : mesure la probabilité d'un macro-état en fonction du nombre de micro-états possibles. Plus il existe de micro-états compatibles avec l'état observé, plus l'entropie est élevée <sup>12</sup>.
- **Entropie de l'information (Shannon)** : mesure l'incertitude ou la quantité d'information contenue dans un message ; elle est calculée sur la distribution de probabilité des symboles. Bien qu'elle partage des analogies mathématiques avec l'entropie physique, il est important de ne pas les confondre : l'entropie en théorie de l'information ne décrit pas un flux de chaleur mais une incertitude mathématique <sup>13</sup>.

L'article *Entropy Systems Theory* résume ces définitions et souligne que l'entropie augmente lorsque l'énergie disponible diminue et que, pour maintenir un système à faible entropie, il faut des apports continus d'énergie et d'information <sup>14</sup>. Cette perspective s'applique aussi aux systèmes vivants : une organisation sociale doit importer de l'énergie (ressources matérielles) et de l'information (connaissances) pour rester structurée et éviter l'état de mort thermique <sup>15</sup>.

# Structures dissipatives et théorie de la complexité

## Complexité et non-linéarité

Dans les sciences sociales, la **théorie de la complexité** propose un cadre pour comprendre les interactions non linéaires entre les éléments d'un système. Rosalia Condorelli décrit les systèmes sociaux comme **ouverts**, composés de nombreux éléments interagissant de façon non linéaire, loin de l'équilibre et donc assimilables à des **structures dissipatives** <sup>16</sup>. La nouveauté de ce paradigme tient à deux constats : (1) les interactions non linéaires produisent des effets disproportionnés où de petites variations déclenchent de grands changements <sup>17</sup> ; (2) ces systèmes possèdent une capacité de **auto-organisation** et d'**émergence** : l'ordre se construit spontanément sans contrôle central <sup>18</sup>. Dans ce cadre, les systèmes sociaux évoluent en permanence à la frontière entre ordre et désordre, dans un état appelé **bord du chaos** <sup>19</sup>.

## Structures dissipatives et ordre issu du chaos

Les physiciens Ilya Prigogine et Isabelle Stengers ont montré qu'un système **ouvert**, loin de l'équilibre, peut générer de l'ordre grâce aux échanges d'énergie, de matière et d'information avec son environnement. Un article de Tiezzi et al. décrit les **structures dissipatives** comme des systèmes ouverts fonctionnant loin de l'équilibre, où l'organisation émerge grâce à ces échanges <sup>20</sup>. Dans ces structures, des **fluctuations** de l'énergie entraînent l'apparition de formes spatiales et temporelles organisées ; Prigogine parle d'« ordre par fluctuations » <sup>21</sup>. Cette dynamique est observable dans des réactions chimiques oscillantes (réaction de Belousov-Zhabotinsky), des cyclones ou même des villes <sup>22</sup>. Les auteurs notent que la variation d'entropie d'un système ouvert peut être négative (le système se structure) à condition que l'entropie du milieu augmente plus que celle du système <sup>23</sup>. Autrement dit, un système peut réduire son entropie interne en exportant du désordre vers l'extérieur.

## Rôle créatif du temps et irréversibilité

Les recherches sur les systèmes dissipatifs montrent que l'**irréversibilité** n'est pas synonyme de dégradation mais de **créativité**. Condorelli rappelle que l'augmentation de l'entropie ne crée pas nécessairement du désordre dans des systèmes ouverts ; elle permet l'émergence de configurations nouvelles. Prigogine voit dans l'entropie non pas une dégradation mais une **augmentation de complexité**, faisant du temps un facteur créatif <sup>24</sup>. Les systèmes sociaux, comme les systèmes physiques, évoluent en raison des instabilités et des fluctuations microscopiques qui rendent l'avenir imprévisible, ce qui justifie l'intérêt de la théorie du chaos pour comprendre ces processus <sup>25</sup>.

# Entropie sociale et sociologie de l'information

## Théorie de l'entropie sociale

Le sociologue Kenneth Bailey a proposé la **théorie de l'entropie sociale** comme tentative de transposer l'entropie aux systèmes sociaux. Selon cette approche, une société est considérée comme un système complexe dont les acteurs interagissent à l'intérieur d'une frontière sociétale (analogue à une frontière thermodynamique). Bailey explique que la variable qui permet de mesurer l'état d'un système social est l'**entropie**, définie comme un indice structurel ayant des interprétations théorique et statistique <sup>26</sup>. Il combine l'entropie de Boltzmann (liée à la distribution des micro-états) et l'entropie de Shannon (liée à l'incertitude de l'information) pour tenter de mesurer l'organisation ou la désorganisation des sociétés <sup>27</sup>. Cette théorie s'inspire des travaux de Ludwig von Bertalanffy sur les systèmes généraux et

considère les sociétés comme des **systèmes ouverts** qui importent de l'énergie et de l'information pour maintenir une structure non équilibre <sup>28</sup>.

## Critiques et clarifications

De nombreux auteurs ont souligné que l'application directe du second principe de la thermodynamique aux sociétés peut être trompeuse. Le site pédagogique *Social entropy* rappelle que le second principe ne stipule pas que tous les systèmes deviennent plus désordonnés ; cette interprétation simpliste est erronée <sup>29</sup>. L'entropie sociale est parfois perçue comme une mesure de la **déviance** (aliénation, anomie) dans un ordre social, mais cette assimilation du désordre social à l'entropie physique est contestée <sup>30</sup>. Par ailleurs, confondre l'entropie thermodynamique et l'entropie de Shannon conduit à des contresens : la première concerne des flux d'énergie et des états physiques, la seconde est une mesure mathématique d'incertitude <sup>13</sup>. Il est donc préférable de parler d'**indices entropiques** ou de **mesures de diversité** plutôt que d'entropie au sens strict lorsque l'on étudie des données sociales <sup>31</sup>.

## Macro-comptabilité, systèmes vivants et entropie

Bailey et Swanson ont étendu la théorie de l'entropie sociale en l'intégrant à la **Living Systems Theory** de James G. Miller. Dans cet esprit, on considère une hiérarchie de systèmes vivants (cellule, organisme, groupe, organisation, société, etc.) qui comportent des sous-systèmes traitant de l'énergie et de l'information <sup>32</sup>. Chaque niveau possède des sous-systèmes de traitement de l'information (transducteur, canal, mémoire, décision, etc.) et de traitement de l'énergie (ingestion, distribution, transformation). La **macro-comptabilité** cherche à identifier des mesures analogues à l'entropie pour décrire l'organisation ou la désorganisation des systèmes économiques et sociaux <sup>31</sup>. Cette approche souligne que l'application de concepts d'entropie doit être contextualisée et que des **indicateurs d'inégalité** ou de diversité peuvent jouer un rôle similaire à des mesures de désordre social.

## Thermodynamique sociale moderne

Une version plus récente, appelée **thermodynamique sociale 2.0**, modélise la société avec trois « ingrédients » : les personnes, l'économie et l'entropie. Tsekov considère que la seconde loi gouverne l'évolution sociale : l'augmentation de l'entropie globale est corrélée à une augmentation de la liberté et du potentiel d'information <sup>33</sup>. Il définit un « **social temperature** » (température sociale) comme la variation d'énergie sociale par unité de libération et un « **social pressure** » (pression sociale) comme le coût énergétique de la croissance économique <sup>33</sup>. Le modèle relie ainsi l'entropie sociale à des indicateurs comme l'indice de liberté de la presse ou la liberté politique <sup>34</sup>. Ce cadre illustre la manière dont des concepts thermodynamiques peuvent inspirer des métriques sociologiques, mais il reste spéculatif et dépend fortement des choix de variables.

## Application à la sociologie de l'information

### Dynamique de l'information comme système chaotique

Les réseaux d'information (médias, réseaux sociaux, blogs) peuvent être modélisés comme des systèmes dynamiques non linéaires. La diffusion d'une information déclenche des rétro-actions : commentaires, partages, réactions de groupes antagonistes. Dhillon et Ward soulignent que, pour les systèmes d'information, **l'avenir est intrinsèquement imprévisible**, que les résultats des changements technologiques sont impossibles à prévoir à long terme et que le succès dépend d'une adaptation rapide <sup>6</sup>. Le **chaos** offre donc un cadre pour comprendre les comportements collectifs dans la circulation de l'information : certaines rumeurs deviennent virales, d'autres disparaissent ; des mouvements sociaux émergent spontanément à partir d'une étincelle. La présence de **rétro-actions**

**positives** (amplifications par algorithmes de recommandation, bulles de filtres) et de **rétro-actions négatives** (modération, lois, saturation de l'attention) crée des dynamiques chaotiques où les attracteurs peuvent être des normes sociales, des croyances dominantes ou des courants de pensée.

## Flux d'énergie, ressources et information

Les concepts thermodynamiques peuvent être utilisés comme métaphores pour analyser les **flux d'information** :

- **Énergie libre** : correspond aux **ressources cognitives** ou **attentionnelles** disponibles. La création et la diffusion d'information consomment du temps et de l'attention, similaires à l'énergie disponible pour faire du travail.
- **Entropie** : mesure **l'incertitude** ou la **diversité** du système d'information. Un réseau homogène, où tout le monde partage la même opinion, a une entropie faible ; un réseau diversifié a une entropie élevée. Cette entropie peut augmenter (plus de diversité) ou diminuer (polarisations) en fonction des échanges d'information <sup>35</sup>.
- **Température sociale** : reflète **l'intensité des interactions**. Un niveau élevé peut correspondre à des débats houleux ou à une mobilisation collective ; un niveau bas à une indifférence généralisée <sup>34</sup>.
- **Pression sociale** : traduit des **contraintes externes** comme la législation, la censure ou la pression économique qui agissent comme des forces sur l'évolution du système <sup>33</sup>.

## Table d'analogies

Concept physique	Concept social / information	Interprétation succincte
<b>Énergie interne (U)</b>	Ressources cognitives et matérielles	Stocks de connaissances, temps, infrastructures nécessaires au traitement de l'information.
<b>Température (T)</b>	Intensité ou émotion sociale	Niveau d'engagement et d'interaction ; un débat « chauffé » correspond à une température élevée.
<b>Pression (p)</b>	Pression sociale ou réglementaire	Contraintes politiques, économiques ou culturelles imposées aux acteurs.
<b>Entropie (S)</b>	Diversité et incertitude informationnelle	Mesure de la variété des opinions et de l'imprévisibilité des contenus <sup>30</sup> .
<b>Rétro-contrôle positif / négatif</b>	Amplification ou régulation des flux	Les partages viraux sont des boucles positives ; la modération et le fact-checking sont des boucles négatives <sup>3</sup> .
<b>Attracteur étrange</b>	Normes ou récits dominants	États vers lesquels les discussions convergent sans se répéter exactement (par ex. un récit médiatique dominant).

## Émergence, adaptation et auto-organisation

La théorie de la complexité et celle des structures dissipatives suggèrent que l'ordre social peut émerger de façon spontanée grâce à des interactions locales. Dans la sociologie de l'information, cela

se traduit par la formation de **communautés en ligne**, de **memes** ou de **mouvements sociaux** sans direction centrale. Les systèmes adaptatifs complexes, tels que les réseaux sociaux, apprennent et s'ajustent à leur environnement : les utilisateurs expérimentent, copient, modifient et sélectionnent les informations qui répondent le mieux à leurs besoins <sup>36</sup>. Cette co-évolution entre les individus et leur environnement informationnel rappelle le **paysage de fitness** en biologie : certaines idées prospèrent, d'autres disparaissent.

## Conclusion

La **théorie du chaos** et les concepts de **thermodynamique** offrent des outils puissants pour réfléchir à la **sociologie de l'information**, mais ils doivent être utilisés avec discernement. La théorie du chaos rappelle que les systèmes d'information sont **non linéaires**, sensibles aux conditions initiales et soumis à des **rétro-actions** qui peuvent rendre l'évolution imprévisible <sup>4</sup>. La thermodynamique, avec la notion d'entropie, montre que l'ordre nécessite des apports continus d'énergie et d'information et que l'**auto-organisation** est possible dans des systèmes ouverts <sup>20</sup>. Toutefois, il est erroné d'affirmer que les sociétés doivent nécessairement se dégrader vers le désordre ; au contraire, l'entropie peut être utilisée comme une **mesure de diversité et d'incertitude** et la création d'ordre est souvent le résultat de fluctuations et d'échanges avec l'environnement <sup>24</sup>.

Transposer ces concepts à la sociologie de l'information encourage une vision **systémique** : les flux d'information, d'énergie et de ressources cognitives interagissent pour produire des dynamiques émergentes. Les théories thermodynamiques sociales (Bailey, Tsekov) offrent des métaphores intéressantes mais nécessitent des validations empiriques. L'enjeu pour la recherche future est de développer des **modèles quantitatifs** qui respectent à la fois la complexité des phénomènes sociaux et la rigueur des sciences physiques, sans confondre métaphore et équivalence. En combinant l'intuition de l'ordre issu du chaos et la compréhension des contraintes énergétiques, la sociologie de l'information peut mieux appréhender les transformations rapides des sociétés contemporaines.

---

<sup>1</sup> <sup>2</sup> <sup>3</sup> <sup>4</sup> <sup>5</sup> <sup>6</sup> (PDF) Chaos Theory as a Framework for Studying Information Systems

[https://www.researchgate.net/publication/220121742\\_Chaos\\_Theory\\_as\\_a\\_Framework\\_for\\_Studying\\_Information\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/220121742_Chaos_Theory_as_a_Framework_for_Studying_Information_Systems)

<sup>7</sup> <sup>8</sup> <sup>9</sup> Entropy: The Hidden Force Making Life Complicated

<https://fs.blog/entropy/>

<sup>10</sup> <sup>11</sup> <sup>12</sup> <sup>14</sup> <sup>15</sup> <sup>35</sup> Entropy Systems Theory

<https://www.eolss.net/sample-chapters/c02/E6-46-01-04.pdf>

<sup>13</sup> <sup>29</sup> <sup>30</sup> www.eoht.info

<https://www.eoht.info/page/Social%20entropy>

<sup>16</sup> <sup>17</sup> <sup>18</sup> <sup>19</sup> <sup>24</sup> <sup>25</sup> <sup>36</sup> Complex Systems Theory: Some Considerations for Sociology

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=69101>

<sup>20</sup> <sup>21</sup> <sup>22</sup> <sup>23</sup> Microsoft Word - DN08 Sections.doc

<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/DN08/DN08030FU1.pdf>

<sup>26</sup> <sup>27</sup> <sup>28</sup> www.eoht.info

<https://www.eoht.info/page/Kenneth%20Bailey>

<sup>31</sup> <sup>32</sup> Social Entropy Theory, Macro Accounting and Entropy Related Measures

<https://www.complexitylabs.io/issbrasil/pdfs/2006-247.pdf>

<sup>33</sup> <sup>34</sup> arxiv.org

<https://arxiv.org/pdf/2307.05984>