

Les polymères dégradables sont-ils une solution pour l'environnement ?

Résumé Le mécanisme de fragmentation progressive qui conduit à la minéralisation complète des plastiques « dégradables » ainsi que leur effet sur l'environnement sont examinés. En outre, les préoccupations récentes publiées dans la littérature concernant l'impact sur l'environnement des micro- et nanofragments avant leur minéralisation sont résumées.

Mots-clés Polymères, plastiques, dégradables, biodégradables, microplastiques, nanoplastiques.

Abstract Are degradable polymers a solution for the environment?

The mechanisms by which « degradable » plastics undergo progressive fragmentation and eventually complete mineralisation are described as well as their environmental effect. Furthermore, the recent concerns reported in the literature for the ecotoxicity of the micro and nanosize fragments prior to their mineralisation are addressed.

Keywords Polymers, plastics, degradable, biodegradable, microplastics, nanoplastics.

La question de l'interaction plastique-environnement

Les stratégies de développement futur des matériaux polymères dépendent de la réponse à la question de l'interaction plastique-environnement, en particulier en ce qui concerne les emballages qui constituent environ 40 % des applications des polymères de synthèse.

En fait, les matériaux polymères (élastomères, thermo-plastiques et thermodurcissables), appelés couramment « plastiques », font l'objet depuis plusieurs dizaines d'années d'une forte préoccupation de l'opinion publique, dans un souci de protection de l'environnement, d'où un intérêt croissant pour les polymères dégradables.

Il est donc indispensable que la communauté scientifique et technologique concernée fournisse une réponse solide aux questions qui touchent l'interaction plastique-environnement, fondée sur les connaissances acquises lors de décennies d'études expérimentales. Il faut surtout éviter l'influence néfaste de jugements émotifs répandus par une partie de l'opinion publique et souvent encouragés par les médias et les techniques de marketing qui sont, dans la plupart des cas, inspirés par un manque de connaissance dans le domaine et un soutien inconditionnel non justifié à tout ce qui est « naturel ».

Une contribution fondamentale à l'élaboration de la réponse est fournie par l'analyse du cycle de vie (ACV), une science née et développée au cours de ces dernières décennies. Elle permet d'effectuer des évaluations environnementales globales et quantitatives de matériaux, produits et procédés. Cette approche permet aujourd'hui d'éviter les erreurs du passé, quand les choix étaient dictés par une vision sectorielle des impacts environnementaux. Par exemple, le recyclage des polymères pour refaire des matériaux (« recyclage matériau ») est souvent considéré gagnant du point de vue de l'environnement. Cependant, dans certains cas spécifiques, une analyse ACV peut conclure à une retombée négative pour l'environnement et donc déconseiller le recyclage du matériau, mais suggérer une fin de vie alternative à choisir dans la large gamme d'autres technologies disponibles à l'échelle industrielle.

Les plastiques dégradables

À l'origine de leur création, la durée de vie des plastiques était du même ordre de grandeur que le temps prévu pour chacune de leurs applications, de quelques mois (film pour emballage) jusqu'à 80 ans (composites pour plateformes pétrolières). Cependant, à partir des années 1970-80, l'industrie a été sollicitée pour produire également des polymères à durée de vie prédéterminée de façon plus précise, au terme de laquelle ils perdent leur intégrité.

Après une phase initiale de définition incertaine, le secteur des plastiques dégradables a été successivement replacé dans un contexte scientifique qui permet aujourd'hui leur commercialisation et la réglementation de leur utilisation transparente et qui tient compte des nécessités environnementales. Ceci a été possible grâce à un programme normatif de grande envergure, conduit par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) [1]. Dans les années 1990, l'ASTM a créé une commission spéciale de 170 membres universitaires, industriels et gouvernementaux, qui a mis en place un projet de recherche ciblé sur l'acquisition de connaissances scientifiques nécessaires à la formulation de normes pour la gestion responsable des plastiques dégradables.

La norme actuellement adoptée par les organismes internationaux donne la définition suivante : « *Un plastique dégradable est un plastique prévu pour subir, en conditions contrôlées, des variations significatives de sa structure chimique qui provoque, en un temps donné, la perte de certaines de ses propriétés vérifiées par une méthode standardisée appropriée au type de plastique et à ses applications, et qui en définit la classification.* » De cette définition, deux aspects fondamentaux sont particulièrement intéressants : la nécessité d'une action chimique au niveau moléculaire qui cause la perte des propriétés macroscopiques du matériau, et l'introduction du paramètre temps dans l'attribution du niveau de dégradabilité et du classement du matériau par une méthode standardisée.

Successivement, les normes concernant les différents agents environnementaux responsables de la dégradation de chaque type de plastique dégradable ont été formulées. Ceci a conduit à la définition certifiable des plastiques photodégradables, biodégradables, compostables, hydrodégradables,

oxodégradables, etc., qui est nécessaire pour les différentes applications. Les normes spécifiques émanant des différentes institutions internationales et nationales chargées de la normalisation sont facilement identifiables dans les banques de données.

Les plastiques biodégradables

D'un point de vue environnemental, parmi les plastiques dégradables, les plastiques biodégradables sont ceux qui sont actuellement l'objet d'intérêt majeur. La biodégradabilité des plastiques joue en effet un rôle de plus en plus important dans la recherche de solutions efficaces de gestion du rapport plastique-environnement, en particulier leur devenir au terme de leur vie utile. Ceci est vrai soit pour les plastiques destinés au recyclage organique par compostage, parce que leur type d'utilisation ne s'adapte pas à d'autres types de recyclage, soit pour les plastiques dispersés dans l'environnement à la fin de leur vie utile.

Selon la définition ASTM, un plastique biodégradable est un plastique dont la dégradation est due à l'action de microorganismes présents dans l'environnement, comme les bactéries, les algues et les champignons [1]. Les microorganismes sont en mesure d'utiliser les composés organiques, y compris les polymères, comme source de carbone et d'énergie à travers des réactions spécifiques, catalysées par les enzymes, qui conduisent à la transformation quantitative du composé (minéralisation) en eau, dioxyde de carbone, méthane (en conditions anaérobies), azote nitrique et ammoniacal (s'il contient de l'azote) et à la formation de biomasse. Des normes internationales, considérant chaque type de milieu terrestre et aquatique, établissent si un matériau polymère peut être défini biodégradable dans le milieu donné.

La biodégradation complète, ou minéralisation, des composés organiques peut avoir lieu à l'intérieur des cellules microbiennes, s'ils sont en mesure de migrer à travers la membrane cellulaire. Les polymères ont toutefois une dimension trop élevée pour pénétrer dans la cellule et doivent donc, dans un premier temps, subir une scission de leur chaîne jusqu'à des dimensions oligomères ou monomères (< 600 Da).

La dégradation extracellulaire des polymères peut avoir lieu sous l'effet d'enzymes ou de molécules réactives produites par les microorganismes et/ou sous l'action d'agents physiques ou chimiques environnementaux, comme par exemple la lumière, l'oxygène et l'eau. Pour que la biodégradation suive, il est également nécessaire que les fragments obtenus soient suffisamment hydrophiles, donc porteurs de groupes polaires qui en facilitent la biodisponibilité.

Tous les polymères sont potentiellement biodégradables : les polymères naturels se dégradent en un temps relativement bref (de l'ordre de mois dans le cas de la cellulose qui est le standard de référence). Les microorganismes de l'environnement ont élaboré des stratégies ciblées à utiliser les composés organiques, dont les polymères naturels, comme moyen de survie. En présence de ces sources de carbone largement disponibles, ils ne sont pas stimulés à utiliser des composés xénobiotiques comme les polymères synthétiques industriels. D'autre part, les microorganismes, à cause de leur capacité d'évolution et d'adaptation, sont en mesure de dégrader presque toutes les molécules organiques, même xénobiotiques, si elles constituent la seule source de carbone à disposition. Dans l'histoire de la recherche sur la biodégradabilité des polymères, une expérience consistant à mettre en contact un échantillon de Nylon 6 avec un substrat minéral contenant

une colonie bactérienne a mis en évidence des signes de dégradation du matériau à partir de 56 jours de contact. Quand la colonie a été transférée sur un substrat frais contenant du Nylon 6 vierge, on a immédiatement observé des signes de biodégradation.

Actuellement, la fabrication de matériaux polymères biodégradables a recours à des polymères aussi bien naturels que synthétiques. Dans ce dernier cas, la structure chimique est spécialement étudiée (ce sont souvent des polyesters) et éventuellement dérivée de sources naturelles comme le polylactide (PLA) dérivé de l'amidon. Les polymères naturels, de par leur nature facilement biodégradable, peuvent être d'origine végétale, animale, mais aussi bactérienne comme les polyhydroxyalcanoates (PHA). Une vaste littérature concernant les nombreux matériaux polymères biodégradables commerciaux, dont la discussion détaillée n'est pas le propos de cet article, est désormais disponible dans les banques de données spécialisées.

Cependant, l'ère des plastiques biodégradables est entrée dans une nouvelle phase sous la pression de sollicitations environnementales de plus en plus fortes et inéluctables, caractérisée par de nouvelles recherches approfondies sur la biodégradation des plastiques, basées sur les techniques de microbiologie les plus récentes. D'une part, le nombre de bactéries présentes dans l'environnement est estimé à 5×10^{30} , ce qui correspond à plus de la moitié de la masse des êtres vivants de la planète.

À l'heure actuelle, 30 000 espèces ont été classées et, en vertu du rôle fondamental qu'elles jouent dans les systèmes biologiques, plusieurs études ont mis en évidence des bactéries capables de dégrader des polymères synthétiques même hydrophobes comme le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS) ou le chlorure de polyvinyle (PVC) [2].

D'autre part, les nouvelles techniques de modification génétique peuvent permettre d'obtenir des bactéries en mesure de synthétiser de nouveaux polymères biodégradables, comme dans le cas de la synthèse des polyhydroxyalcanoates (PHA), et d'autres bactéries capables de biodégrader des polymères synthétiques considérés récalcitrants à la biodégradation.

Les plastiques oxodégradables

La durée de vie des plastiques peut, en principe, être également réglée en exploitant la dégradabilité des polymères organiques sous l'action de l'oxygène et de la lumière. L'approche consiste à additionner au polymère des composés à base de sels métalliques, qui en accélèrent la dégradation photo-oxydative dans l'environnement, d'où le nom de plastiques « oxodégradables ».

Ce procédé provoque la scission des chaînes du polymère et la formation de groupes oxydés sur le polymère lui-même et sur les fragments qui en résultent. Ces deux facteurs facilitent la dégradation des fragments par des microorganismes de l'environnement. Cependant, le temps nécessaire à la minéralisation du polymère, déclaré par les producteurs eux-mêmes, est de cinq à dix ans, en fonction des conditions environnementales locales.

Actuellement, l'application principale des plastiques oxodégradables concerne l'agriculture et en particulier les films de paillage (généralement en polyéthylène) dérivés d'un brevet de 1971, qui conservent leurs propriétés pendant deux à trois mois pour ensuite se désagréger en quelques jours, de façon

à permettre le ramassage mécanisé des produits agricoles et la préparation du sol pour la culture suivante.

Les plastiques cachés

À la fin du siècle dernier, les images d'objets en plastique abandonnés, entassés dans des milieux naturels comme la « soupe de plastique » des océans Pacifique et Atlantique, ont particulièrement attiré l'attention. Depuis quelques années en revanche, une activité de recherche et développement, commencée dès le début des années 1970, s'est concentrée sur la présence dans l'environnement de fragments de plastique nommés microplastiques (≤ 5 mm) et nanoplastiques (≤ 10 nm).

En effet, des quantités importantes de fragments de plastique, définis « polluants de nouvelle génération », ont été trouvées dans tous les milieux terrestres et aquatiques, y compris dans certaines régions arctiques. On estime que chaque année, 3 millions de tonnes de microplastiques sont dispersées dans l'environnement.

La préoccupation concernant l'impact potentiel sur les écosystèmes de ces fragments est aggravée par le fait que, contrairement aux macroplastiques de dimension > 5 mm qui sont inertes et visibles, donc faciles à éliminer, les fragments micro et nano sont invisibles à l'œil nu. En outre, ils peuvent transporter des produits toxiques adsorbés sur leur surface.

L'origine des fragments est extrêmement variée ; on distingue les micro- et nanoplastiques « d'origine primaire » produits dès leur fabrication en dimension micrométrique et nanométrique en raison de leur emploi spécifique, comme par exemple les produits pour l'hygiène personnelle, ceux utilisés dans des processus industriels ou qui font partie de matériaux avancés (nanocomposites). Les fragments « d'origine secondaire » dérivent de la fragmentation d'articles en plastique de dimension supérieure, comme par exemple les films utilisés en agriculture. Un rapport de l'International Union for Conservation of Nature estime toutefois que la plus grande quantité de microplastiques dans l'environnement dérive de l'érosion des pneus (46 %) et des fibres textiles synthétiques libérées durant le lavage (28 %) [3]. En outre, il a été établi que 75-90 % des fragments présents dans les océans sont d'origine terrestre contre 10 à 25 % formés *in situ* [4].

Microplastiques et nanoplastiques dans l'environnement

Les effets potentiellement néfastes des fragments de plastique sur les écosystèmes sont dus à trois facteurs :

- Le premier est leur ingestion par des organismes qui font partie de la chaîne alimentaire ou leur interaction avec le monde végétal.

- Le deuxième dérive de la capacité de ces fragments à concentrer des polluants de l'environnement par adsorption. En effet, leur surface spécifique, en raison de leur petite taille, est extrêmement élevée. On a évalué que l'adsorption des polluants sur des fragments de plastique peut provoquer l'augmentation de leur concentration jusqu'à un million de fois celle de l'environnement où ils étaient présents au préalable. Les analyses des microplastiques ont révélé la présence de POP (produits organiques persistants), y compris ceux qui ne sont plus utilisés depuis des dizaines d'années comme le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et les polychlorobiphényles (PCB). En outre, la pandémie récente

attire l'attention sur la possibilité de transport d'organismes pathogènes de la part de ces fragments.

- Enfin, le troisième facteur concerne la migration vers la surface des fragments de certains additifs des polymères, comme les stabilisants, qui peuvent avoir des effets potentiellement négatifs sur l'environnement.

Les données préliminaires concernant la toxicité des microplastiques indiquent qu'ils devraient avoir un effet limité sur l'organisme, probablement parce qu'ils ne peuvent pas traverser les membranes cellulaires. En outre, l'exposition aux composés adsorbés sur la surface ainsi que les additifs des plastiques semblent avoir un effet mineur [5]. D'autre part, une étude récente met en évidence que les microplastiques présents dans les sols peuvent avoir un effet négatif sur la croissance des végétaux [6]. Cependant, on manque encore de données suffisantes pour conclure de façon définitive sur l'impact global des microplastiques.

Le cas des nanoplastiques, qui peuvent en revanche traverser les membranes cellulaires, devrait être approfondi de façon urgente, de la même façon qu'on étudie l'impact de la gestion des nanocharges utilisées par exemple dans les nanocomposites. Actuellement, la recherche concernant les nanoplastiques dans l'environnement est encore pratiquement inexistante.

La réponse

Les plastiques dégradables, en particulier biodégradables, ont une raison d'être rationnelle s'ils sont utilisés pour des applications qui prévoient, en fin de vie, leur recyclage organique à travers le compostage, tels typiquement les emballages alimentaires et les articles à usage unique, récupérés par le tri des ordures domestiques ou de la restauration. Dans le processus de compostage, le plastique biodégradable contribue à fournir l'énergie chimique nécessaire aux microorganismes pour transformer les déchets organiques en un composé de grande valeur agronomique, semblable à l'humus des sols. L'impact environnemental du dioxyde de carbone produit au cours de la minéralisation aérobie du plastique en phase de compostage reste modeste dans le contexte du processus global et est partiellement compensé par la croissance des végétaux sur le substrat à base de compost.

Pour que le plastique puisse être considéré compostable, c'est-à-dire qu'il puisse faire partie du matériel destiné au compostage, sans compromettre la qualité du produit final, il faut qu'il soit complètement minéralisé (avec 10 % de marge de tolérance) en moins de 180 jours. La compostabilité des plastiques peut être vérifiée grâce à des essais effectués selon des normes internationales qui certifient la dénomination « plastique compostable ».

En ce qui concerne les plastiques abandonnés dans l'environnement de façon délibérée, comme dans le cas des films de paillage, ou par négligence, comme dans le cas fréquent des emballages, l'utilisation de plastiques biodégradables est considérée comme une solution acceptable, à condition que leur minéralisation (avec 10 % de marge de tolérance) ait lieu rapidement et de toute façon en moins d'un an, afin de limiter le temps de permanence dans l'environnement de micro- et nanoparticules.

Néanmoins, pour la fabrication des films de paillage, qui est un secteur en phase de développement continu et rapide, les technologies et les polymères en mesure de produire des films biodégradables, caractérisés par un temps de minéralisation



Trouver les différences entre les deux images... (voir [9] pour la solution).

plus court, existent mais leur adoption est actuellement limitée par leur coût [7].

L'application des plastiques biodégradables en agriculture est souhaitable, même si elle constitue un coût pour la communauté, en raison des avantages pour l'environnement et le rendement des cultures.

On ne peut faire les mêmes considérations pour autoriser l'abandon des emballages, même biodégradables, dans l'environnement. Ceci parce que la biodégradation complète dans ce cas implique un gaspillage de matière (sous forme de carbone) et d'énergie qui auraient pu trouver une application utile.

Ces considérations concernent également les matériaux « oxodégradables », souvent commercialisés sous la dénomination trompeuse « oxobiodégradables » [8], qui contribuent à la prolifération de micro- et nanoplastiques dans l'environnement. Selon les connaissances actuelles sur les risques potentiels dus à la présence de micro- et nanoplastiques, ce genre de matériel est à éviter si on ne parvient pas à abrégier le temps de minéralisation. Ces observations sur les matériaux oxodégradables sont prises en considération dans la directive (UE) 2019/904 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 dont l'objet est la réduction de l'impact de certains articles en plastique dans l'environnement.

Le choix de plastiques biodégradables ou compostables, pour des applications spécifiques comme celles qui prévoient des temps d'utilisation courts et contrôlés et/ou à usage unique comme les emballages alimentaires, est donc vertueux. Ceci est vrai non seulement parce que le plastique reste le matériau le plus adapté, même du point de vue environnemental, mais aussi en raison de l'option positive de recyclage (organique) ou de la réduction de l'impact environnemental de technologies avantageuses comme le paillage.

Dans le cas des emballages alimentaires, il faut toutefois considérer que les emballages plastiques ont eu du succès en raison de leur résistance à la dégradation bactérienne, à la base du développement de la grande distribution.

Cependant, le problème de l'abandon des emballages dans l'environnement doit être affronté de façon drastique, en mettant en place des mesures éducatives et répressives. En effet, à part l'aspect esthétique, il faut prendre en compte le gaspillage de ressources et les risques liés à la présence du plastique, même biodégradable, dans l'environnement, à cause des processus de fragmentation.

Que faire et ne pas faire ?

Au cours de ces dernières années, les mesures destinées à réduire l'impact environnemental des plastiques ont eu comme priorité la limitation de l'entrée des micro- et nanoplastiques dans les écosystèmes et de leur persistance dans l'environnement. Dans l'attente des conclusions des études en cours sur le risque effectif lié aux fragments, le principe de prudence maximum conseille de mettre en évidence et éliminer ou réduire les causes de leur formation et/ou de leur dispersion dans les écosystèmes.

Dans le cas des microplastiques d'origine primaire, des règlements qui visent à en interdire ou à en réduire l'utilisation sont en phase de mise en place. Des interventions plus articulées sont à mettre en place pour les microplastiques d'origine secondaire. Par exemple, en ce qui concerne les deux sources principales, usure des pneus et fibres textiles, on pourrait en principe avoir recours à des élastomères biodégradables dans le premier cas et à des systèmes de filtration au cours du lavage dans le deuxième.

Par contre, il ne faudrait pas affronter ce qui est une question plutôt qu'un problème de la fin de vie des plastiques de façon émotive et/ou dans le but d'acquiescer un consentement politique. En effet, ce sont ces attitudes qui sont à la base de certaines normes contraignantes comme la Directive (UE) 2019/904 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 qui interdit ou réduit la commercialisation de certains articles à usage unique en plastique. On trouve dans la Directive deux éléments dont la validité scientifique devrait être vérifiée : d'une part, l'interdiction ou la limitation de fabrication de certains objets en plastique à usage unique ou destinés à une utilisation limitée dans le temps n'est pas motivée par une analyse de cycle de vie comparative des mêmes objets fabriqués avec des matériaux alternatifs disponibles, y compris les plastiques biodégradables. D'autre part, les polymères naturels sont exclus, sans motivation, des restrictions imposées par la Directive.

La Directive, bien qu'elle considère également, mais de façon marginale, l'aspect de l'éducation des utilisateurs, reflète l'attitude, quelquefois peu raisonnée, diffusée dans l'opinion publique d'attribuer au plastique la responsabilité de leur utilisation irresponsable, alors que sa valeur réelle reste très positive. En outre, l'adoption de technologies et des règlements correspondants doit prendre en compte, outre l'impact environnemental, l'évaluation du rapport risques et bénéfices

existants dans n'importe quelle technologie ancienne ou nouvelle.

La communauté scientifique active dans ce domaine a néanmoins le devoir déontologique de communiquer à l'opinion publique le rôle positif du plastique, à partir de sa position, désormais irremplaçable, non seulement dans les technologies actuelles, mais aussi dans notre vie quotidienne (voir figure). En particulier, les avantages des plastiques, même d'un point de vue environnemental s'ils sont utilisés correctement, par rapport aux matériaux alternatifs doivent être représentés de manière scientifique convaincante.

nanotoxicology, *Environ. Sci. Technol.*, **2015**, 49, p. 8932-47, <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>.

[6] S. Pignattelli, A. Broccoli, M. Renzi, Physiological responses of garden cress (*L. sativum*) to different types of microplastics, *Sci. Total Environ.*, **2020**, 727, 138609, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138609>.

[7] S. Kasirajan, M. Ngouajio, Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review, *Agron. Sustain. Dev.*, **2012**, 32, p. 501-529, <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3>.

[8] G. Scott, Oxobiodegradable plastic, *Bioplastics Magazine*, **2009**, 4, p.28-30, www.bioplasticsmagazine.com/bioplasticsmagazine-wAssets/docs/download/articles/0905_p30_bioplasticsMAGAZINE.pdf

[9] Les objets manquants sont tous des plastiques couramment utilisés dans notre vie quotidienne.

[1] R. Narayan, C.A. Pettigrew, ASTM Standards define and grow biodegradable plastics, *ASTM Standardization News*, Dec. **1999**, p. 36-42.

[2] D. Danso, J. Chow, W.R. Streit, Plastics: environmental and biotechnological perspectives on microbial degradation, *Appl. Environ. Microbiol.*, **2019**, 85, e01095-19, <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>.

[3] J. Boucher, D. Friot, *Primary Microplastics in the Oceans: a Global Evaluation of Sources*, Gland, IUCN, **2017**, <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>.

[4] K. Duis, A. Coors, Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects, *Environ. Sci. Eur.*, **2016**, 28, 2, <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y>.

[5] H. Bouwmeester, P.C.H. Hollman, R.J.B. Peters, Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production chain: experiences from

Giovanni CAMINO*,

Ancien professeur du Politecnico di Torino, Turin (Italie), président (1995-97) de l'Associazione Italiana delle Macromolecole (AIM), société sœur du GFP.

Michèle NEGRE,

Ancien professeur de l'Università di Torino.

* giovanni.camino@formerfaculty.polito.it

{BnF AJSPI

Société Chimique de France

Société Française de Physique

SIF

SFDS

SMAI
société de mathématiques
appliquées et industrielles

Société
Mathématique
de France
S.M.F.



Sciences | Médias

Femmes scientifiques à la Une !

Comment améliorer la représentation des femmes scientifiques dans les médias ?

29 janvier 2021 - BnF, Paris
Journée de conférences et débats
En présentiel et webinaire

Inscription gratuite et obligatoire sur
www.sciencesetmedias.org

LIVE
STREAMING