



Sup Forge

54

FONDERIE



JUIN 2026

TO
T
S

L'ESFF engage une nouvelle étape de son développement avec son installation sur le campus Arts et Métiers de Châlons-en-Champagne à la rentrée prochaine de septembre 2026.

Ce projet ambitieux marque un tournant majeur dans la vie de l'École : il lui permettra de s'inscrire dans un environnement académique et technologique d'excellence, en synergie avec les acteurs de la formation et de la recherche industrielle avec l'ENSAM et le CETIM.

Pour concrétiser cette installation, l'École doit adapter les locaux mis à disposition par les Arts et Métiers à ses besoins spécifiques (bureaux aménagés, salles de cours équipées, réseaux, espace d'accueil, de vie étudiante).

Nous entrons actuellement dans une phase opérationnelle du projet, qui nous amène à engager dès à présent les premières dépenses d'aménagement et d'équipement qui représentent un effort financier important, que l'École ne peut assumer seule. C'est pourquoi nous faisons appel à l'engagement des fondeurs/forgerons à titre personnel et aux entreprises de la profession.

Les entreprises peuvent y contribuer en effectuant un don au profit de l'ESFF en identifiant tout ou partie d'un des moyens identifiés (voir site internet AAESFF).

Ce don ouvre droit à une déduction fiscale de 60 % de son montant (article 238 bis du CGI). Il est également possible d'effectuer un don à titre personnel ouvrant droit à une déduction fiscale de 66%.

La participation mise en œuvre sera indiquée à l'entrée de l'école en tant que donateur.

Cela constituera un soutien concret à la formation des ingénieurs de demain, et un gage d'engagement collectif pour l'avenir de la fonderie et de la forge.

Avec nos remerciements les plus sincères pour l'attention que les entreprises porteront à cet appel et pour leur fidèle soutien à l'École et à la profession.

Mourad TOUMI

Président AAESFF

PRIX LAINÉ 2025 : VOYAGE À MUMBAI À L'OCCASION DE L'IFEX

Jeffrey DALLEMAGNE

Dans un premier temps je tiens à remercier l'Association des Anciens élèves de l'École Supérieure de Fonderie et de Forge (AAESFF) pour cette opportunité de représenter l'école en tant que lauréat du prix Lainé. C'est avec le titre d'ambassadeur que j'ai eu l'honneur de représenter mes camarades ainsi que nos métiers de la forge et de la fonderie à l'étranger. Cette année, la destination du voyage est l'Inde et plus particulièrement Mumbai dans la mesure où cette ville accueille l'IFEX, l'International Foundry Exhibition.

Bien que seul lauréat du prix Lainé, je ne suis pas parti seul dans cette épopée. J'ai eu la chance d'être accompagné d'un camarade de promo et ami, Malo STRULLU, qui a choisi de braver l'inconnu pour également porter les couleurs de l'école.

MUMBAI ORGANISATION ET VOYAGE

L'IFEX ayant lieu du 12 au 14 Février, nous prenons la décision de séjourner en Inde sur une période allant du 8 au 14 afin de nous familiariser dans un premier temps avec ce nouvel environnement. Nous décollons le 7 à 11h30 et c'est ainsi que le voyage débute... par une épreuve de patience, c'est en effet après 8h20 de vol que nous atterrissons à Mumbai aux

alentours d'une heure du matin heure locale. À bord du 787 Boeing, il était possible de constater le dépaysement avant même d'avoir atterri, par le hublot nous pouvions distinguer à l'aide des lumières de la ville, le fleuve Ulhas (anciennement appelé Bombay) au bord duquel scintillait d'innombrables feux issus des rites funéraires hindous.



À la sortie de l'avion, nous sommes immédiatement frappés par le climat hivernal indien : 30°C et 70% d'humidité, donnant la sensation que l'air devient significativement plus lourd.

DÉCOUVERTE DE LA VILLE

Après une courte nuit de sommeil, nous profitons d'un déjeuner mis à disposition par l'hôtel, on y remarque tout de suite les influences occidentales et plus particulièrement britanniques. Sont ainsi mêlés plats indiens et English breakfast, on y mange des Puri, des pâtisseries, fruits exotiques comme des mets salés, saucisses et baked beans. Comme nous pouvions nous y attendre, nous constatons que tous les plats préparés sont très épicés bien qu'excellents.

Une fois armés d'un forfait internet, nous prenons la décision de rejoindre la plage à pied pour traverser la ville et découvrir plus concrètement le quotidien des 20 millions de Mumbaikars (les habitants de Mumbai). Nous empruntons alors les routes indiennes, nous sommes alors frappés par l'omniprésence de déchets le long des routes, sur les trottoirs et dans les caniveaux (1)(2). Ce fait, bien que marquant, finit en réalité par perdre de son ampleur à mesure que l'on marche pour laisser place à une autre différence culturelle : le trafic routier.

Si les routes sont factuellement larges faciles à distinguer, elles sont composées d'un flux constant de centaines de véhicules klaxonnant à tout va. Deux roues de petites cylindrées, touk-touk et voiturettes se mêlent avec de grands SUV occidentaux et nippons dans un brouhaha incessant et paradoxalement ordonné(3). Si en France le klaxon a une connotation d'outrage et de danger imminent, en Inde, le klaxon vise simplement à marquer une présence auprès des autres usagers. Les Indiens circulent donc sans former de voies claires, se dépassant sans indication, le tout sans aucunes insultes ni fracas ou accident. Il suffit alors de marcher lentement pour traverser une rue, les différents usagers nous évitaient tout bonnement en ajustant leur trajectoire.(3)

Vis-à-vis de la population, on remarque que malgré la chaleur, on ne voit aucun indien porter de short ni ne se promener torse nu. Tous portent des pantalons ainsi que des chemises, pour les femmes, elles portent soit des habits longs occidentaux soit le traditionnel sari. Si la ville est densément peuplée, on ne ressent pas vraiment de gêne, la taille des rues et des trottoirs permettent aisément de circuler. Cette densité s'exprime cependant dans l'omniprésence des citoyens, il n'y a aucun lieu qui est vide ou inoccupé, on trouve à chaque coin de rue un vendeur, un groupe qui discute, un

Une fois nos bagages récupérés, nous nous confrontons à la barrière de la langue car la plupart des locaux ne parlent finalement que l'Hindi ou Marathi. Dépourvu de réseau mobile

homme qui fait la sieste. (4)

La ville en elle-même est surprenante du fait de ses bâtiments tantôt vieux, mal entretenus ou en bon état et plus particulièrement par un autre phénomène : l'absence de gentrification. Nous constatons avec stupeur par exemple, un palais de marbre blanc en construction au milieu d'une rue avec une multitude de petits commerces mitoyens. Ce phénomène est d'autant plus flagrant lorsqu'il s'agit d'immeubles aux magnifiques devantures ou aux modernes malls comprenant moult marques de luxe, le tout au milieu de bidonvilles. Nous constatons également qu'il y a des travaux à chaque coin de rue, constructions, modernisations, rénovations, entretiens et agrandissements : la ville est pleine de vie et bénéficie d'un boum économique visible à chaque échelle de la société.

Cette modernité contraste fortement avec l'héritage visible dans l'architecture anglo-saxonne de certains bâtiments ou dans les temples ou musées de la ville. Nous visitons ainsi le sud de

et d'internet, nous parvenons malgré tout à gagner l'hôtel déposés par un touk-touk.

Mumbai, une des parties les plus occidentalisées et retrouvons sans surprises les enseignes habituelles, le Mc Donald et l'Apple-store ainsi que les premiers bars et troquets ; des bâtiments qui étaient aux demeurant absents du paysage jusqu'alors. C'est alors par pur sens du devoir que nous nous installons dans un de ces bars afin de découvrir les us et coutumes mais aussi les breuvages locaux. Les différentes bières à la vente sont originales, peu de classiques lagers, blondes, brunes ou ambrées. On nous propose plutôt des bières fruitées, des IPA aromatisées ou des bières issues de la fermentation du riz. En parcourant le quartier sud, sur le chemin du retour nous empruntons une gare pour remonter plus au nord de la ville. Nous entrons alors dans une gare, un bâtiment moderne aux façades blanches, des militaires nous contrôlent ainsi que nos affaires à l'aide d'un portique et d'un scanner similaire à celui des aéroports. Il s'agit du métro de Mumbai, une construction récente, à peine finalisée, que nous empruntons pour regagner l'hôtel. Cette ligne, vieille de deux ans est en tout point similaire à ce que l'on peut retrouver en France en matière de qualité et pour cause, le fabricant des métros n'est autre qu'Alstom (5) ! Étonnement en revanche, le métro n'est à l'heure actuelle que peu utilisé bien





que peu cher et avantageux. Le métro est facturé en fonction des arrêts parcourus pour quelques roupies, bien moins cher plus rapide qu'un touk-touk par exemple, néanmoins nombres de places restes inoccupées même aux heures de pointe.

Une fois ces escapades en ville finies, nous profitons de ce réseau ferroviaire pour également visiter le Nord de la ville, notamment le monastère troglodyte du parc de Sanjay Gandhi : les caves de Kanheri. Ce monastère est composé des 107 caves creusées à même la roche dans un parc naturel densément boisé. Les caves étaient tantôt de la taille d'un studio parisien mais parfois de dimension bien plus importante. Une des principales salles atteignait facilement les huit mètres sous plafond, le tout orné de plein de sculptures représentant des divinités du panthéon

bouddhiste. A l'entrée de cette salle se tenaient debout deux énormes buddhas de dix pieds de haut, au fond trônait un stupa, une grande sphère de pierre ornée également d'une représentation de buddha. Ces caves se trouvaient dans une réserve naturelle en bordure de la ville de Mumbai, nous avons ainsi pu y croiser des singes à l'état sauvages dans les forêts autour des chemins menant au dit monastère. [6][7]

CONTEXTE INDUSTRIEL

Pour revenir sur des thèmes plus proches de la métallurgie et de l'état de la sidérurgie en Inde, il est intéressant de faire une rétrospective sur l'histoire. Au 3^e siècle avant J.C. on trouvait déjà en Inde une méthode d'élaboration des aciers révolutionnaire pour l'époque : l'acier « wootz ». Cette méthode aussi appelée « acier au creuset » permettait d'obtenir un acier de bonne qualité, faible en inclusions et riche en carbone sans pour autant faire une fonte. À l'aide de fers et d'aciers primaires obtenus par bas fourneaux, ils élaboraient à l'époque un acier en répartissant ces métaux dans un creuset réfractaire qui, une fois chauffé, permettait alors une fusion totale des matériaux, ces derniers refroidissaient lentement formant un acier à haute teneur de carbone et généralement chargé en vanadium et homogène en composition. Le forgeage de ces aciers était réservé aux sabres et une fois travaillés et traités ils révélaient des motifs de différentes nuances de gris que l'on appelle aujourd'hui « Damas ». On peut également citer le pilier de fer de Delhi, un pilier de six tonnes, érigé au 5^e siècle après J.C. qui est longtemps resté un mystère archéologique en raison de son absence totale de corrosion alors que ce dernier est resté plus de 1500 ans à l'air libre sans revêtement dans une des régions les plus humides du globe. Lors des premières analyses en 1870 faites par les Britanniques, le pilier était constitué de fer pur à 99.7% ce qui n'expliquait pas la résistance à la corrosion. Ce n'est qu'en 2002 qu'une autre étude permet d'identifier une fine couche d'un composé chimiquement défini le Fe-OOH, appelé féroxyhyte qui empêchait la corrosion de pénétrer, cette pellicule a pu se former en raison d'une forte teneur en phosphore (~1%) non détecté lors de la première étude. Il est à noter que cette couche de féroxyhyte a continué à se former dès l'érection du pilier pour atteindre après 1500 ans une épaisseur de 50µm.

Mais revenons à nos aventures, une fois accoutumé à la cuisine locale, au trafic et à la culture du pays, nous nous décidons à contacter les différentes usines liées au monde de la métallurgie situées dans Mumbai. Une d'entre elle nous répond, et à la suite des différents échanges nous parvenons à obtenir une visite juste avant l'IFEX. Nous nous rendons ainsi au nord-est de Mumbai dans le quartier industriel de la ville afin de visiter Hindustan Forging and Steel Industry. Cette partie de Mumbai est assez atypique car on constate que chaque habitation se situe finalement sur une échoppe avec pignon sur rue. On remarque alors bon nombre de petits ateliers d'usinage avec des tours conventionnels, des fraiseuses ou encore des ateliers de soudure, les conditions de sécurité sont des plus rudimentaires ou absentes. A l'arrivée chez Hindustan Forging and Steel Industry, nous sommes reçus par un des ingénieurs du groupe, nous échangeons ainsi sur nos parcours respectifs mettant ainsi en valeur l'alternance et notre école. Nous expliquons ainsi que nous cherchons de nouveaux contacts en Inde susceptible d'accueillir au sein de leur entreprise des Ingénieurs les temps d'une mission pour valider leur diplôme. Ces derniers acceptent et nous remettent leur contact avant de nous inviter à visiter brièvement l'atelier.

Hindustan FSI est une entreprise de forge libre et d'usinage proposant des pièces de l'ordre de la centaine de kilos à plusieurs tonnes pour le marché des machines-outils. Ils forgent exclusivement des aciers faiblement alliés partant de lingot brut d'élaboration jusqu'à la pièce finie. Pour ce faire ils disposent de deux presses, une de 1200t est une de 4000t couplées à des manipulateurs leur permettant d'effectuer étirages, refoulements et bigornages. Nous remarquons qu'au sein de l'atelier peu de place permet la circulation, les lingots étant posés à même le sol en pyramides, les autres espaces

disponibles sont occupés par des fours ou des tours conventionnels. On observe également la présence d'EPI pour chacun des ouvriers présents, une surprise contrastant avec les conditions visibles dehors. Un autre point marquant est l'agrandissement de l'atelier, en effet, des équipes présentes sur site travaillaient à agrandir l'atelier pendant la production. Les forgeages n'étaient pas arrêtés durant les travaux. Ils n'en demeurent pas moins qualifiés selon les normes ISO 9001 et ISO 14001. Cette visite au sein d'une forge indienne nous a permis de nous replonger dans le monde de l'industrie et de réemployer alors le vocabulaire lié à nos corps de métier.

IFEX

L'IFEX a lieu du 12 au 14 février, lors du premier jour nous arpentons avec difficulté, dû au nombre de visiteurs, les allées d'exposants s'étalant sur pas moins de 4 entrepôts. Avant de relater nos expériences et rencontres au sein de ce salon, il me semble intéressant de relever certains chiffres clés : L'IFEX c'est également 13 000m², pas loin de 400 exposants de tout horizon et activités et environ 30 000 visiteurs sur l'ensemble du week-end. [8]

Jeffrey DALLEMAGNE arrive à l'IFEX 2026



Nos premiers instants au sein de ce salon s'illustrent par une déambulation hasardeuse à travers les stands en quête de nouveautés ou d'éléments insolites. Nous croisons alors des équipementiers divers, tantôt de matériel léger, spectrophotométrie, scanner 3D, machine de dureté ou de matériaux lourds, fours à inductions, ébarbeuses automatiques, robots, grenailleuses. Mais un autre marché marque son omniprésence au sein de ce salon : celui des matières premières, parmi tous les équipementiers destinés à fournir les fonderies indiennes, d'autres acteurs se dressent avec force, les fournisseurs de sables, de minéraux et de consommables généraux. Nous parcourons ainsi des stands bardés d'échantillons de sables aux indices différents, de filtres et poteries ou encore de matériaux tels que des oxydes de fer, des ferro-silicium ou d'autres plus exotiques incluant manganèse ou vanadium. [9]

Ces péripéties nous mènent à des retrouvailles avec des visages familiers, rencontrés durant notre scolarité, je pense évidemment à Patrick VERDOT, enseignant au sein de l'ESFF [10]. Ce dernier est présent au stand de Amcol, un groupe américain faisant promotion de son argile, une bentonite sodique haut de gamme. Après de chaleureuses retrouvailles, nous rencontrons l'équivalent indien de l'ESFF, la National Institute of Advanced Manufacturing Technology ou NIAMT. Nous échangeons alors sur la portée de nos institutions respective, du statut de l'ingénieur dans une entreprise française puis indienne surtout des scolarités en elles-mêmes. Nous échangeons alors sur le modèle de l'alternance



Malo STRULLU parmi les Ferreux

peu rependu en Inde, ses avantages comme défauts, mais également sur la nécessité d'effectuer une période minimale de 8 semaines à l'étranger. Dans un second temps nous échangeons avec les enseignants pour découvrir que tout comme à l'ESFF les enseignants dispensent des cours de métallurgie, et de fonderie et de forge mais également sur d'autres domaines comme le génie industriel, la métrologie et les CND. Cet échange, bien que court, permet de faire une prise de contact claire entre nos établissements, d'autres échanges restent néanmoins à prévoir pour mettre en place un partenariat.

Plus loin nous trouvons le stand d'Elkem, et rencontrons les membres de la branche indienne travaillant avec Mourad [11]. Fort de cette nouvelle interaction nous poursuivons notre exploration du salon. Nous constatons ainsi une écrasante majorité de pièces en alliages ferreux parmi les expositions, des pièces généralement liées à la mécanique générale, à l'automobile ou au ferroviaire mais également au monde du bâtiment [12]. Les pièces exposées vont des quelques grammes à plusieurs centaines de kilos, leurs aspects sont variés, les plus petites pièces sont reprises en usinage tandis que les plus grandes son d'aspect grossier, des tolérances visiblement au centimètre avec parfois quelques défauts



Malo et Jeffrey

débouchants perceptibles. Ceci varie fortement avec un stand présentant des technologies de pointe, tels que des bras robotisés destinés à couler les pièces ou garantir la manutention. Nous pouvons également mentionner les noyaux imprimés en 3D destiné à démontrer la performance machine, nous observons ainsi des géométries biscornues mais également des sculptures purement démonstrative représentant lions et dragons ou divinités hindoues.

Le salon reflète alors bien l'industrie du pays, des affiches disposées proches des salles de conférences rapportent de chiffres sur l'état de l'industrie du pays. Ainsi, sur l'année 2024, le marché de la fonderie en Inde ne représente pas moins de 23.6 milliards de dollars et présente une croissance de 9.6%. Dans ce marché le principal secteur est celui des alliages ferreux générant 83.8% des revenus. Si l'on se penche sur les technologies employées pour produire on constate alors les chiffres suivants : 67.6% des fonderies indiennes utilisent du sable, 10.5% font de la coquille gravité, 3.9% de la fonderie par centrifugation, 3.9% font de la coulée continue, 6.1% font de la cire perdue et 9.4% de procédé non-classé. Nous étions alors surpris par le pourcentage de cire perdue, jugé élevé compte tenu de l'absence de stand en faisant la promotion au sein du salon. Un autre prisme d'analyse intéressant est celui de la géographie, en effet 38% du marché est le fruit de l'Ouest, 32% du Sud, 18% du Nord, 9% de l'Est et seulement 3% de l'Inde centrale.



Malo STRULLU, Patrick VERDOT, Jeffrey DALLEMAGNE

Cela étant dit, pouvons également nous attarder sur les usages des pièces de fonderie en Inde basées sur les revenus qu'ils génèrent :

Au tomobile	28.6%
Energie	18.1%
Construction	11.9%
Equipement minier	11.8%
Aérospatiale et défense	6.9%
Équipements électriques	5.9%
Agricole	5.4%
Autres (Ferroviaire, naval, ingénierie générale)	11.5%

Pour donner suite aux différentes déambulations au sein du salon et à un repas nous gagnons ensuite les salles de conférences sur les principaux enjeux de la fonderie. Nous prenons ainsi place dans une grande salle pleine de tables blanches et de gradins.

La conférence se décompose en plusieurs sessions d'une heure où dialoguent cinq interlocuteurs, tous du monde de la fonderie Indienne. Ils abordent alors les sujets un à un afin de débattre, les sujets portent la problématique suivante : « Comment améliorer la fonderie au cours des cinq prochaines années ? »

Le premier point abordé est celui des effectifs, en effet les conférenciers montraient leur désarroi quant à la proportion de femme dans ce corps de métier, environ 27% des effectifs. Ils espèrent alors mettre en place les actions permettant de rendre plus attractif ce domaine, cette réflexion marque un vent de progressisme dans un pays fortement marqué par une culture patriarcale. Ils expriment également un désir de séduire les plus jeunes, comme dans beaucoup de pays, l'industrie perd en attractivité, ils espèrent alors susciter la passion des plus jeunes pour ce corps de métier. Enfin, ils rappellent combien les métiers de la sidérurgie sont dangereux, proposant de multiplier les campagnes de prévention au port des EPI démontrant une véri-

table conscience des risques liés à leur process.

Un autre point qui semble évident pour les fonderies les plus fortunées est l'utilisation de l'IA et une digitalisation massive de leur équipement lourd, une mise en œuvre de l'industrie 4.0. Ils cherchent à maximiser l'automatisation et la collecte de données afin de corriger les défauts pièces aux réglages machine et ainsi minimiser les dérives.

Les conférenciers continuent sur les actions qu'attendent les industriels indiens de la part de leur gouvernement, ces derniers décrivent expressément vouloir imiter la croissance chinoise. Pour ce faire ils demandent que les prix de l'énergie baissent afin de concurrencer les énergies chinoises moins coûteuses. Les ordres de grandeurs sont les suivants : 35-55 USD/MWh pour la Chine et 45-65 USD/MWh pour l'Inde, les industriels indiens pensent que ce fait rend abordable les imports chinois. Toujours dans une optique de consolider leur souveraineté nationale, les industriels expriment la volonté d'utiliser des ressources locales, ils parlent alors des argiles, souvent importés ou encore du Ferro-Silicium.

Dans un second temps un nouveau thème est abordé sobrement intitulé « 3D to 3D, Dark Dangerous and Dusty to Developing, Decarbonizing and Digitalizing ». S'en suivent alors une énonciation d'actions à mener sur l'écologie et des objectifs de décarbonation des plus ambitieux ! Ils expriment en effet vouloir diminuer de moitié leur émissions de CO2 d'ici 2100, un défi ardu compte tenu du non-respect de certaines normes européennes ou plus généralement de l'utilisation massive des énergies fossiles. Ces buts pharaoniques témoignent néanmoins d'une véritable prise de conscience et d'une volonté ferme d'agir pour le futur.

Cette volonté s'incarne particulièrement chez l'entreprise Brake India, qui expose fièrement leurs ambitions mais surtout les moyens qu'ils comptent utiliser. Ils souhaitent diminuer de 45% leurs émissions d'ici 2030 et d'atteindre la parfaite neutralité d'ici 2070, en profitant pour



rappeler que 22% des émissions indiennes de CO2 sont le fruit de l'industrie. Pour respecter cet engagement, Brake India souhaite atteindre 100% d'énergie renouvelable grâce à l'utilisation de Biomasse artificielle, produite par afforestation, sur l'utilisation de fours électriques de dernière génération (50% plus efficace que leurs prédécesseurs) mais également sur l'utilisation de circuit fermé des eaux afin de ne plus polluer les affluents mitoyens. Ils expriment également vouloir électrifier leurs équipements légers, perceuses, meuleuses et limiter l'utilisation d'air comprimé ou encore utiliser des palettes métalliques réutilisables. Ils souhaitent par ces actions se certifier ISO14001/45001 et 50001 mais également s'illustrer à l'échelle de leur région en finançant la plantation d'arbres en ville.

En conclusion de cette conférence, ce qui nous paraît être le maître mot de ces débats, c'est la conscience. L'Inde et ses industriels ont une parfaite conscience de l'image qu'ils renvoient à l'international, de leurs forces et ont correctement identifiés leurs faiblesses avec des plans d'actions pour y remédier. Ce qui ressort de ce salon et de ces échanges, c'est une industrie mature et croissante, un terreau fertile qui saura prendre les décisions les plus bénéfiques dans les années à venir.

CONCLUSION

Ce voyage fut une expérience remarquable, un véritable dépaysement, l'occasion de découvrir une culture tout autre. J'admets être parti avec des clichés en tête, et si certains sont bel et bien fondés, le jeu en vaut la chandelle. L'Inde est un pays d'une culture très riche avec une histoire liée au travail des métaux, j'ai apprécié découvrir les ouvrages et ornements dans les musées autant que j'ai aimé visiter leur forge et l'IFEX. Je note que l'Inde est un pays où coexiste tous les éléments permettant de produire les pièces les plus complexes qu'on puisse concevoir, ce n'est qu'une question de temps avant que les entreprises ne gagnent davantage en maturité et en savoir avant de rivaliser avec les entreprises européennes sur le plan de la qualité.

